

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»  
УДК 621.565.952.78; 621.039.546.332

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Г.Б.Варламов  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»,  
спеціалізації «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»  
на тему: Інтенсифікація конвективного теплообміну в трубному пучку апаратів повітряного охолодження

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ТП – 61 м

\_\_\_\_\_ Петречук Андрій Леонідович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доцент Барабаш П.О.

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти: з мат. моделювання к.т.н. Кутра Д.С.

\_\_\_\_\_ (назва розділу)

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.

\_\_\_\_\_ (назва розділу)

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

Спеціалізація «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) Г.Б.Варламов  
(ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

Петречуку Андрію Леонідовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Інтенсифікація конвективного теплообміну в трубах апарату повітряного охолодження

науковий керівник дисертації к.т.н., доцент Барабаш Петро Олексійович \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом дисертації 18.05.2018 р.

3. Об'єкт дослідження: Теплообмінна секція апарату повітряного охолодження. \_\_\_\_\_

4. Предмет дослідження: Тепловіддача при охолодженні рідини у трубі з внутрішнім повздовжнім оребренням. \_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Провести літературний огляд методів інтенсифікації конвективного теплообміну всередині трубок. Обрати оптимальний метод. Провести розрахунки за відомими формулами для гладкої трубки. Провести комп'ютерне моделювання для труб з різними геометричними параметрами ребер вибраного типу оребрення. Провести комп'ютерне моделювання оптимального оребрення труб для різних матеріалів труб та різних режимів течії теплоносія в трубі. Розробка апарату повітряного охолодження з інтенсифікованим теплообміном та порівняння його з типовим АПО на таку ж потужність. Зробити висновки по роботі. \_\_\_\_\_

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: 40 фотографій, 10 таблиць

---

---

---

7. Орієнтовний перелік публікацій: дві публікації

---

---

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
мат. моделювання	Кутра Д.С., доцент		
охорона праці	Каштанов С.Ф., доцент		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури		
2	Комп'ютерне моделювання		
3	Розробка АПО з інтенсифікованим теплообміном та порівняння його з типовим АПО на таку ж потужність		
4	Обробка отриманих даних		
5	Розробка стартап проекту		
6	Охорона праці		
7	Оформлення МД		

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

А.Л. Петречук  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

П.О. Барабаш  
(ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_  
\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація на тему «Інтенсифікація конвективного теплообміну в трубках апаратів повітряного охолодження»: 80 с., 51 рис., 6 табл., 4 додатки, 10 джерел.

Об'єкт дослідження – теплообмінна секція апарата повітряного охолодження.

Мета роботи – визначити найоптимальніший метод інтенсифікації всередині трубки апарату повітряного охолодження.

У магістерській дисертації наведені результати літературного пошуку, в якому розглянуті: область використання, конструкції, переваги та недоліки апаратів повітряного охолодження. Також були розглянуті різні методи інтенсифікації конвективного теплообміну всередині трубки. Був вибраний по теплопередачі та гідравлічному опору всередині трубки оптимальний метод інтенсифікації – повздожне оребрення.

У роботі розроблена 3D модель гладкої та оребренної трубки апарата повітряного охолодження в програмному забезпеченні SolidWorks. Отримані їхні розподіли температур, швидкостей та поверхневі параметри трубки. Визначений оптимальний тип оребрення для заданих параметрів. Змодельована оребренна трубка з різних матеріалів та при різних швидкостях потоку всередині трубки, та визначений оптимальний матеріал та оптимальне значення швидкості потоку.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок представлено з використанням шаблону бізнес-моделі Олександра Остервальдера та Іва Піньє.

Були розглянуті заходи, спрямовані на організацію безпечної роботи в приміщенні науково-дослідної лабораторії (безпечна експлуатація ВДТ ПЕОМ, електробезпека).

Розглянули параметри для необхідного мікроклімату в робочій зоні дослідника з метою збереження його здоров'я і забезпечення максимальної продуктивності праці.

Ключові слова: апарат повітряного охолодження, методи інтенсифікації, повздожне оребрення, моделювання процесу теплообміну.

## АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация на тему «Интенсификация конвективного теплообмена в трубках аппаратов воздушного охлаждения»: 80 с., 51 рис., 6 табл., 4 приложения, 10 источников.

Объект исследования - Теплообменная секция аппарата воздушного охлаждения.

Цель работы - определить оптимальный метод интенсификации внутри трубки аппарата воздушного охлаждения.

В магистерской диссертации приведены результаты литературного поиска, в котором рассмотрены: область применения, конструкции, преимущества и недостатки аппаратов воздушного охлаждения. Также были рассмотрены различные методы интенсификации конвективного теплообмена внутри трубки. Был избран по теплопередаче и гидравлическому сопротивлению внутри трубки оптимальный метод интенсификации - продольное оребрение.

В работе разработана 3D модель гладкой и оребрением трубки аппарата воздушного охлаждения в программном обеспечении SolidWorks .. Полученные их распределения температур, скоростей и поверхностные параметры трубки. Определенный оптимальный тип оребрения для заданных параметров. Смоделирована оребренная трубка из различных материалов и при различных скоростях потока внутри трубки, и определен оптимальный материал и оптимальное значение скорости потока.

Разработка и вывод стартап-проекта на рынок представлено с использованием шаблона бизнес-модели Александра Остервальдера и Ива Пинье.

Были рассмотрены меры, направленные на организацию безопасной работы в помещении научно-исследовательской лаборатории (безопасная эксплуатация ВДТ ПЭВМ, электробезопасность).

Рассмотрели параметры необходимого микроклимата в рабочей зоне исследователя с целью сохранения его здоровья и обеспечения максимальной производительности труда.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, методы интенсификации, продольное оребрение, моделирование процесса теплообмена.

## SUMMARY

Master's dissertation on the topic "Intensification of convective heat transfer in tubes of air cooling devices": 80 p., 51 figures, 6 tables, 4 annexes, 10 sources.

The object of the study is the heat exchange section of the air cooling apparatus.

The purpose of the work is to determine the most optimal method of intensification inside the tube of the air cooling apparatus.

In the master's dissertation the results of the literary search are considered, in which: the area of use, design, advantages and disadvantages of air-cooled devices are considered. Various methods of intensification of convective heat transfer inside the tube were also considered. It was chosen for the heat transfer and hydraulic resistance inside the tube, the optimal method of intensification - longitudinal sharpening.

In this work a 3D model of a smooth and abrasive tube of an air cooling apparatus was developed in SolidWorks software. Their distributions of temperatures, velocities and surface parameters of the tube were obtained. The optimal type of sharpening for the given parameters is determined. A coiled tube of different materials and at different flow rates inside the tube is simulated, and the optimum material and the optimal value of the flow velocity are determined.

The development and launch of a startup project on the market is presented using the template of the business model of Alexander Osterwalder and Iva Pignier.

Were considered measures aimed at the organization of safe work in the premises of the research laboratory (safe operation of the VDT PC, electrical safety).

Considered the parameters for the required microclimate in the work area of the researcher in order to preserve his health and ensure maximum productivity.

Key words: air cooling apparatus, methods of intensification, longitudinal fineness, modeling of heat transfer process.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень, термінів.....	7
Вступ.....	8
1 Методи інтенсифікації теплообміну в апаратах повітряного охолодження (літературний огляд).....	9
1.1 Загальна характеристика апаратів повітряного охолодження.....	9
1.2 Методи інтенсифікації конвективного теплообміну.....	12
1.3 Висновки до розділу 1, постановка задачі і програма досліджень.....	20
2 Моделювання у програмному забезпеченні SolidWorks.....	22
2.1 Постановка задачі.....	22
2.2 Моделювання гладкої трубки апарату повітряного охолодження.....	23
2.3 Розрахунок гладкої трубки апарату повітряного охолодження.....	26
2.4 Моделювання труб з різними параметрами внутрішнього оребрення.....	27
2.5 Моделювання оребреної трубки з різних матеріалів.....	43
2.6 Моделювання оребреної трубки з різними швидкостями руху теплоносія.....	46
2.7 Висновки до розділу 2.....	50
3 Техніко економічний розрахунок.....	51
4 Розроблення стартап-проекту.....	53
4.1 Опис блоків бізнес-моделі.....	53
4.2 Висновки до розділу 4.....	56
5 Технічні рішення і запобігаючі заходи з охорони праці.....	58
5.1 Технічні та організаційні рішення щодо робочих місць в приміщенні науково-дослідної лабораторії.....	59
5.2 Технічні рішення та організаційні заходи гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи.....	64
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	67
5.4 Висновки до розділу 5.....	70
Висновки.....	72С
Список використаної літератури.....	73
<u>Додаток А Технічне завдання на науково-дослідницьку роботу.....</u>	<u>75</u>
<u>Додаток Б Акт впровадження результатів магістерської дисертації.....</u>	<u>77</u>
<u>Додаток В Список наукових праць .....</u>	<u>78</u>
<u>Додаток Г Перевірка магістерської дисертації на плагіат .....</u>	<u>79</u>

## СПИСОК ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Pr$  – критерій Прандтля;

$w$  – швидкість, м/с;

$d$  – діаметр труб, м;

$\nu$  – кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

$\varepsilon$  – коефіцієнт опору тертя;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$Q$  – тепловий потік, Вт;

$F$  – площа теплообмінної поверхні;

$t$  – температура, °С;

### Індекси

Нижні:

в – внутрішній;

ст – стінка;

з – зовнішній;

гл – гладкий;

ор – оребрений;

### Скорочення

АПО – апарат повітряного охолодження;



## ВСТУП

На сьогоднішній день апарати повітряного охолодження мають дуже широке застосування. Вони призначені для охолодження газоподібних і рідких середовищ в газовій, хімічній та нафтохімічній промисловості. Наприклад, широке використання апаратів повітряного охолодження в нафтопереробній промисловості пояснюється обмеженістю водних ресурсів та необхідністю зменшення кількості стічних вод, які забруднюють водойми і для очищення яких потрібні складні гідротехнічні споруди. Апарати повітряного охолодження (АПО) прості в експлуатації, ремонт та очищення їх не вимагають великих трудових витрат. Зовнішня поверхня теплообміну майже не забруднюється холодоагентом (повітрям), навіть якщо обдувати їх запиленім повітрям і при значному забрудненні теплообмінних труб. На зовнішній теплообмінній поверхні не відбувається корозії, яка зазвичай притаманна всім конденсаторам і холодильникам, внаслідок чого можна легко вибирати матеріал труб для повітряних конденсаторів. АПО економічно виправдані у порівнянні з іншими відомими охолоджувачами.

Недоліками АПО є велике енергоспоживання за рахунок потужного привода вентилятора, що робить їх дорогими в експлуатації. Потужний вентилятор потрібний для подолання великого аеродинамічного опору повітря при русі його через пучок труб, для ефективного використання всієї теплообмінної поверхні. Через низьку швидкість нагрітого повітря на виході з теплообмінних секцій може виникнути рециркуляція, тобто зворотній повітряний потік в зону розрідження на вході вентилятора. Розподіл охолоджуваного середовища по трубах пучка з камери його підвода також призводить до збільшення гідравлічного опору. Найбільш знижується теплова ефективність влітку, коли збільшується температура зовнішнього повітря.

# 1 МЕТОДИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ В АПАРАТАХ ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

## 1.1 Загальна характеристика апаратів повітряного охолодження

У зв'язку з дефіцитом прісної води, високою вартістю водооборотного водопостачання, втратами і забрудненням води, на хімічних, газо- і нафтопереробних виробництвах все ширше застосовують апарати повітряного охолодження (АПО) як достатньо ефективне і надійне теплообмінне обладнання (рисунок 1.1).[1]

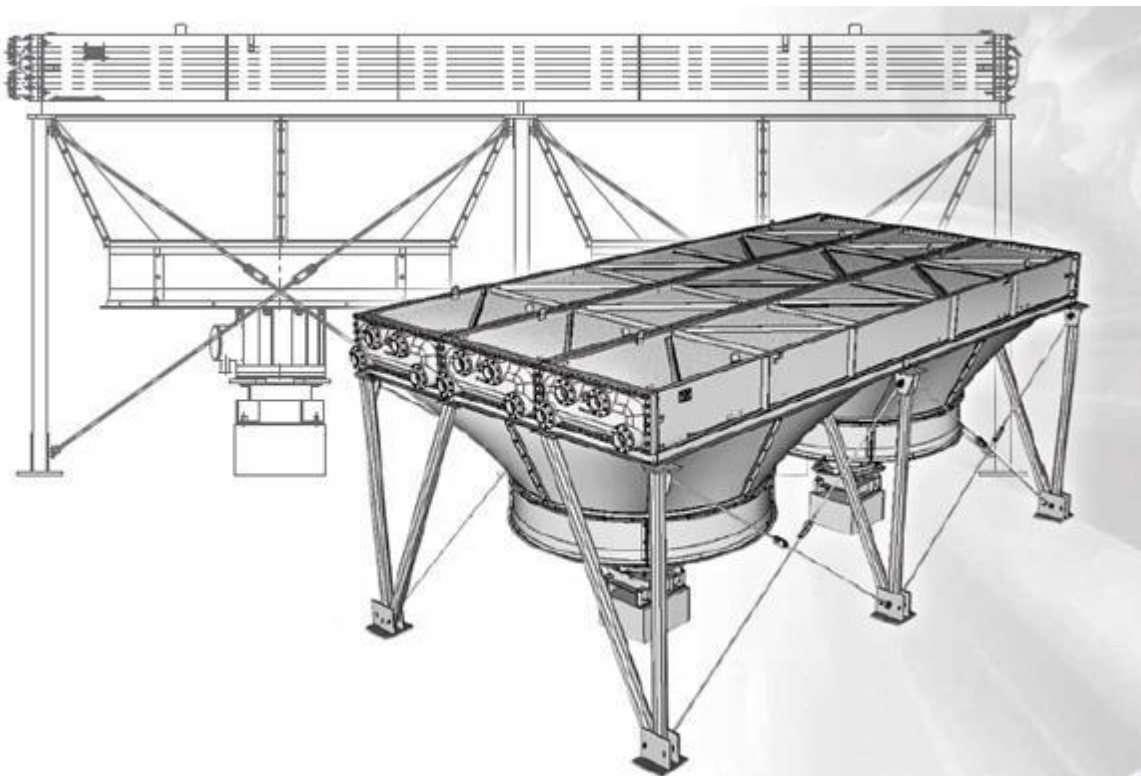


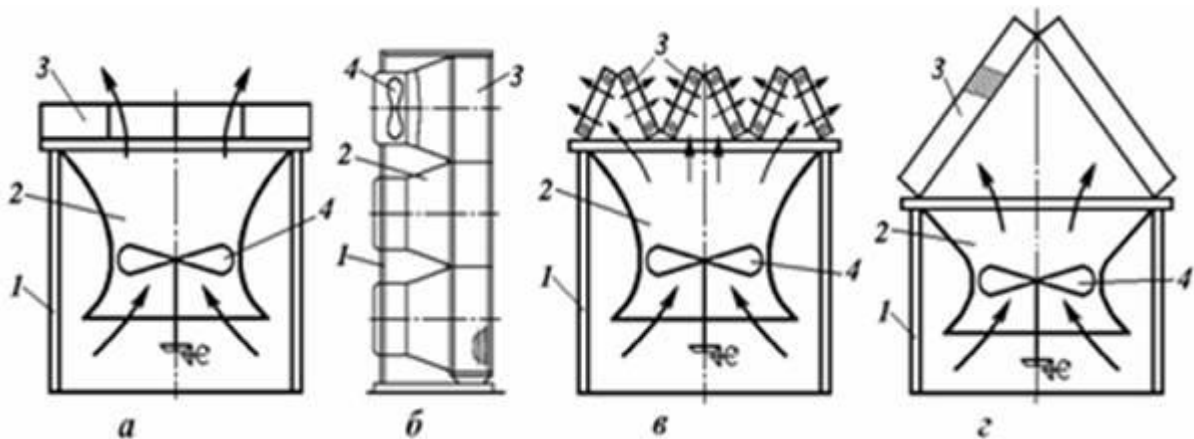
Рисунок 1.1 – Загальний вигляд АПО

В якості теплоносія, що віднімає тепло від середовищ, які охолоджуються, в АПО використовують атмосферне повітря, що подається примусово вентиляторами в зону теплообміну або поступає мимовільно за рахунок природної тяги. Застосування АПО дозволяє розміщувати ГПЗ максимально наближеними до запасів сировини і незалежно від джерел водопостачання.

Використання АПО паралельно із теплообмінниками інших конструкцій дозволяє на підприємстві понизити витрату води і витрати на експлуатацію оборотного водопостачання, зменшити кількість стічних вод, скоротити витрати праці на обслуговування, чищення і ремонт теплообмінного обладнання. Використання систем охолодження на базі АПО декілька підвищує

капітальні витрати при будівництві установок, але ці одноразові витрати швидко окупаються економією експлуатаційних витрат. Основною статтею витрат при експлуатації АПО є вартість споживаної електроенергії.

Принципова схема устрою АПО (рисунок 1.2) передбачає наявність трубчатк, усередині якої під тиском протікає охолоджуваний теплоносіє, а також розвиненої зовнішньої поверхні теплообміну, утвореної оребреними трубами, що обдуваються потоком холодного повітря, що примусово подається вентилятором.

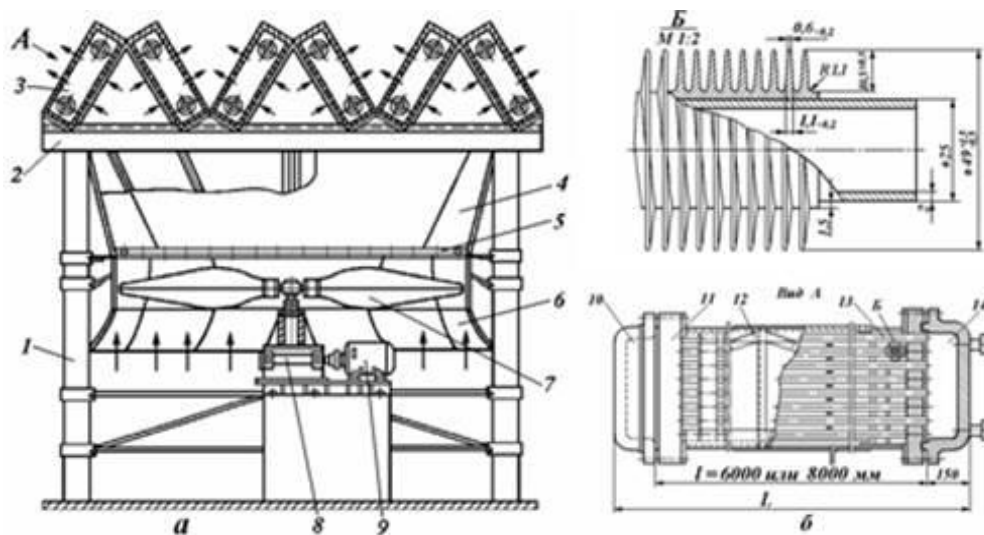


а - горизонтального (АПГ); б - вертикального (АПВ); в - зигзагоподібного (АПЗ); г - шатрового (АПШ); 1 - рама; 2 - корпус; 3 - теплообмінна секція; 4 - вентилятор з приводом.

Рисунок 1.2 - Принципові схеми апаратів повітряного охолодження

По технологічному призначенню АПО використовуються як холодильники і конденсатори для роботи у області температур від мінус 40 до +300оС при тиску до 6,4 МПа. Робоче середовище з колектора поступає в секції і охолоджується в багатоходових трубних пучках, число ходів в трубному просторі від одного до восьми.

Оребрені зовні теплообмінні труби внутрішнім діаметром 21-22 мм і завдовжки від 1,5 до 8 м, розміщені в шаховому порядку і закріплені в трубній решітці розвальцьовуванням або приварюванням. Труби бувають монометалічними або біметалічними, при цьому внутрішні несучі труби виготовляють з вуглецевої, низьколегованої або легваної сталі, зовнішні труби виготовляють з алюмінієвого сплаву. Залежно від величини теплового навантаження виготовляють апарати з одним, двома або декількома вентиляторами (для малопотокових АПО), що дозволяє відключати частину вентиляторів у разі пониження температури повітря. Привід вентилятора буває редуктором або безпосередньо від тихохідного електродвигуна.



а - АПЗ в зборі; б - секція теплообмінна в розрізі; 1 - опорна конструкція; 2 - рама; 3 - секція теплообмінна; 4 - дифузор; 5 - пристрій зрошувальний; 6 - колектор вентилятора; 7 - вентилятор; 8 - редуктор; 9 - електродвигун; 10 - кришка; 11 - трубна решітка; 12 - рама кріпильна для секції; 13 - труба оребрена біметалічна; 14 - камера розподільна.

Рисунок 1.3 - Апарат повітряного охолодження типа АПЗ

На опорній рамі 2 змонтовані теплообмінні секції 3, число труб в секції складає від 82 до 188 і залежить від числа рядів і числа ходів по трубах, коефіцієнта оребрення труб (рисунок 1.3). Коефіцієнтом оребрення називають відношення площі поверхні одного метра оребреної труби до зовнішньої площі поверхні гладкої труби і для стандартних труб він рівний 9, 14,6 і 22. Число секцій в апараті з одним вентилятором рівне 6, довжина труб рівна 6000 мм, повна площа поверхні теплообміну апарату залежно від числа труб і коефіцієнта оребрення складає від 2650 до 9800 м<sup>2</sup>. Продуктивність вентилятора щодо об'ємної витрати повітря, що подається, можна варіювати за допомогою зміни кута нахилу лопатей, тим самим регулюється інтенсивність теплообміну з боку повітря і витрата електроенергії. У апаратах АПЗ застосовують чотирьохлопатеве колесо вентилятора діаметром 5000 мм з частотою обертання колеса 4,15 1/с, кут установки лопатей змінюють від 10 до 25°. У жарку пору року зниження температури повітря, що подається, досягається його зволоженням при уприскуванні води через форсунки зрошувального пристрою 5.

## 1.2 Методи інтенсифікації конвективного теплообміну

Теплообмінні апарати знайшли широке застосування в багатьох областях господарської діяльності, авіаційно-космічній, енергетичній, хімічній, нафтопереробній, харчовій промисловості, холодильної та кріогенної техніки, в системах опалення, гарячого водопостачання, кондиціонування, різних теплових двигунах. У зв'язку із зростанням енергоозброєності космічних апаратів, енергонапруженості пристроїв, підвищенням вимог до можливих режимів регулювання систем досить актуально стоїть питання вивчення можливих процесів інтенсифікації теплообміну. Зменшення масогабаритних характеристик теплообмінників за рахунок інтенсифікації особливо тепломасообмінних процесів має велике значення ракетно-космічній техніці. Використання інтенсифікованих процесів тепломасообміну дозволить збільшити масу корисного вантажу, що виводиться на орбіту, при тих же енерговитратах і в цілому підвищити тактико-технічні характеристики ракетноносіїв і космічних апаратів.

Досвід створення і експлуатації різних теплообмінних апаратів показав, що розроблені до теперішнього часу методи інтенсифікації теплообміну забезпечують зниження габаритів і металоємності (маси) пристроїв в 1,5 ... 2,0 і більше разів в порівнянні з аналогічними серійними пристроями при однаковій тепловій потужності і потужності використовуваної на прокачку теплоносіїв.

В даний час запропоновані і досліджені різноманітні методи інтенсифікації конвективного теплообміну. Стосовно до течії однофазних теплоносіїв використовуються турбулізатори потоку на поверхні, шорсткі поверхні і поверхні, розвинені за рахунок оребрення, закрутка потоку спіральними ребрами, шнековими пристроями, завихрювачі, встановлені на вході в канал, підмішування до потоку рідини газових бульбашок, а до потоку газу - твердих частинок або крапель рідини, обертання або вібрація поверхні теплообміну, пульсації теплоносія, вплив на потік електростатичних полів, відсмоктування потоку з прикордонного шару. Ефективність інтенсифікації для різних її способів при істотно різних витратах енергії різні.

#### 1.2.1 Інтенсифікація теплообміну при використанні періодично кільцевих виступів

Це один з найбільш ефективних і досліджених способів інтенсифікації (рисунок 1.4). Варто відзначити, що накатка кільцевих канавок досить технологічна, так як не збільшує зовнішній діаметр труб, дозволяючи використовувати дані труби в тісних пучках і не міняти існуючої технології складання теплообмінних апаратів. Кільцеві діафрагми і канавки турбулізують потік в пристінному шарі і забезпечують інтенсифікацію теплообміну зовні і всередині труб [2].

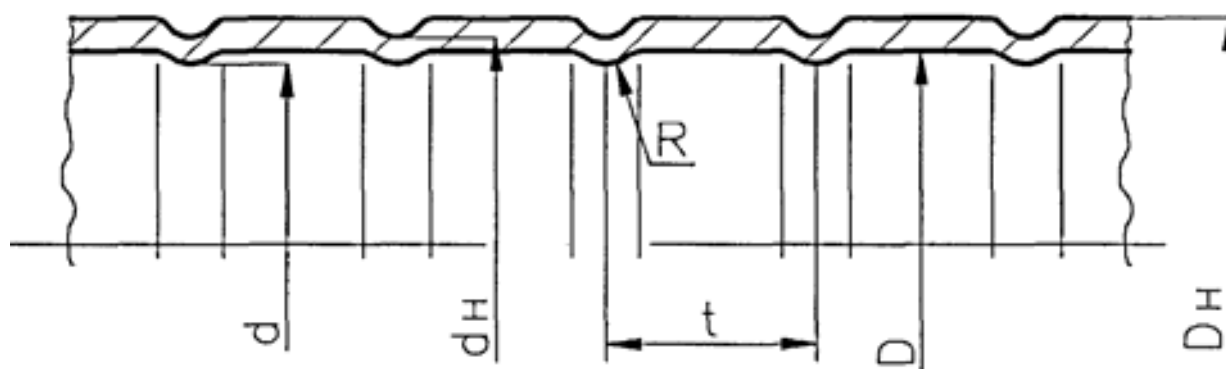
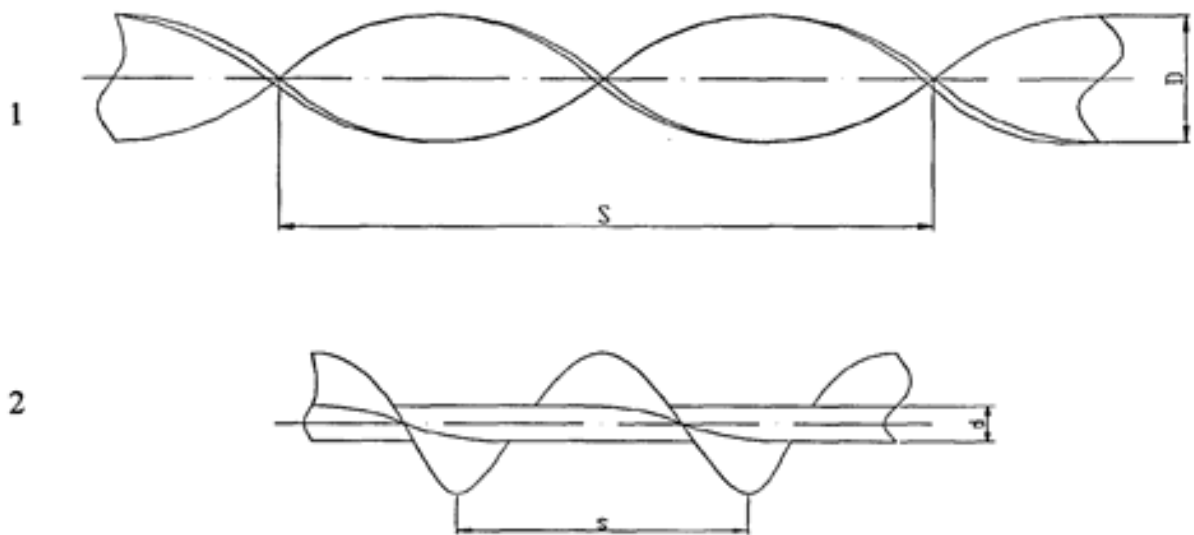


Рисунок 1.4 – Поздовжній розріз труби з кільцевою накаткою

#### 1.2.2 Закручування потоку в трубах за допомогою гвинтових вставок

При закрутці потоку місцеві пристінкові швидкості збільшуються, і загальний рух потоку змінюється. Закручування потоку в трубах здійснюється при використанні закручених стрічок і шнеків (рисунок 1.5). При цьому воно підтримується безперервно по всій довжині труби, що забезпечує сталість співвідношення тангенціальної і осьової складової швидкості [3].



1 - закручена стрічка, 2 – шнек

Рисунок 1.5 – Гвинтові вставки

При закрутці потоку стрічкою в поперечному перерізі рідина перетікає від периферії до центру в результаті дії градієнта тиску. Крім того, рідина з прикордонного шару проникає в ядро потоку. Ці рухи призводять до виникнення чотирьох вихрових областей (рисунок 1.6), які сприяють посиленню теплообміну і спільно з дією відцентрових сил зменшують товщину прикордонного шару. Вихрове змішування також сприяє виникненню турбулентного течії при менших числах  $Re$  [4].

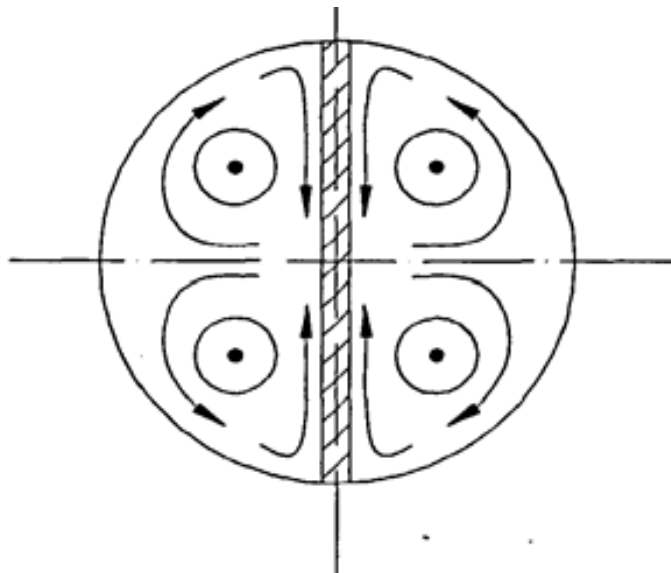


Рисунок 1.6 – Схема утворення вторинних течій в трубі з закрученою стрічкою

Турбулентний потік теплоносіїв в теплообмінних апаратах має переваги, так як він забезпечує вигідне співвідношення між рівнем інтенсивності теплообміну і величиною втрат тиску в порівнянні з ламінарним режимом [5].

Однак ламінарна і перехідна течія також реалізуються в каналах теплообмінного обладнання як при нерозрахованих режимах роботи (знижені витрати середовищ), так і при нормальних режимах експлуатації. При ламінарних режимах течії визначальним механізмом перенесення тепла є теплопровідність (поперек потоку, по нормалі до стінки), тому інтенсивність тепловіддачі відносно мала. На відміну від турбулентної течії, в ламінарному (перехідному) потоці термічний опір в каналі більш рівномірно розподілений по всьому його поперечному перерізі, тому для інтенсифікації тепловіддачі необхідно збурюючий вплив на обширну зону пристінної течії. Стрічкові завихрювачі в цій області режимів особливо ефективні. Для ламінарної течії кращий діапазон кроків закручувача  $S = (6 \dots 10) D$ . Аналіз, проведений в різних роботах, показує, що збільшення тепловіддачі, отримане з допомогою закручувачів, в перехідному і турбулентному режимах зі збільшенням числа  $Re$  значно падає, тому використовувати закручувачі при великих числах  $Re$  для потоку в трубі не рекомендується [6].

#### 1.2.3 Канали зі спіральними виступами і пружинними вставками

У трубах зі спіральними виступами інтенсифікація обумовлена спільною дією двох чинників: турбулізацією і руйнуванням пристінкового шару течії виступами і закручуванням пристінного потоку під дією виступів. Інтенсифікуючий вплив часткової закрутки течії низьким виступом (тільки пристінної зони) реалізується через збільшення пристінної швидкості потоку. Цей спосіб слід віднести до комбінованих способів інтенсифікації теплообміну, так як на потік одночасно діє турбулізація і закрутка [7].

#### 1.2.4 Інтенсифікатори типу «дифузор-конфузор»

Трубчасті поверхні теплообміну з хвилястими стінками складаються з ділянок конфузів і дифузів, які виготовляються шляхом накатки спеціальними роликами (рисунок 1.7) [8]. Кути розширення дифузів і конфузів вибираються за умовою отримання потоку з нестационарними відривними явищами. Такі відриви потоку інтенсифікують теплообмін [9].



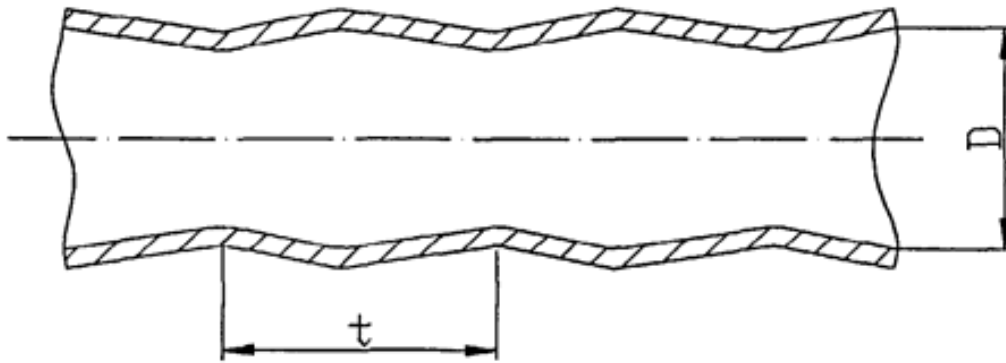


Рисунок 1.7 – Поздовжній розріз труби типу конфузор-дифузор

При малій відносній довжині дифузора і при наявності підпору за рахунок конфузора відриви потоку носять нестационарний характер, що сприятливо відображається на інтенсифікації теплообміну. Зовнішня турбулентність при від'ємному градієнті тиску сприяє інтенсифікації теплообміну. Зазначені умови реалізуються в даному випадку наступним чином: турбулентність генерується в диффузорній області і сприятливо впливає в конфузорній області [10].

Дані трубки характеризуються відносно низьким опором і високим теплообміном. Тепловий потік при рівному опорі збільшується приблизно в 1,5 рази.

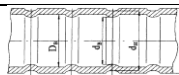
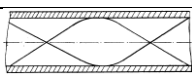
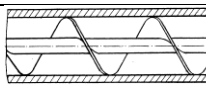
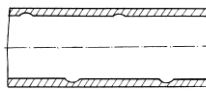

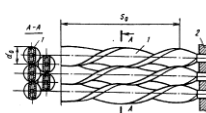
Труби типу «конфузор-дифузор» перспективні для застосування і в ламінарному, і в перехідному режимах течії різних середовищ в трубах теплообмінників. Експерименти показують, що при однакових з гладкою трубою енергозатратах на прокачування масла в таких трубах при перехідному режимі тепловий потік збільшується на 40...70% [11].

В таблиці 1.1 порівнюються переваги і недоліки методів інтенсифікації. У більшості розглянутих варіантів сильно збільшується гідравлічний опір, а також вони є складними у застосуванні. Підсумувавши всі переваги та недоліки вирішено розглянути інші методи інтенсифікації, а саме повздовжнє оребрення [12].

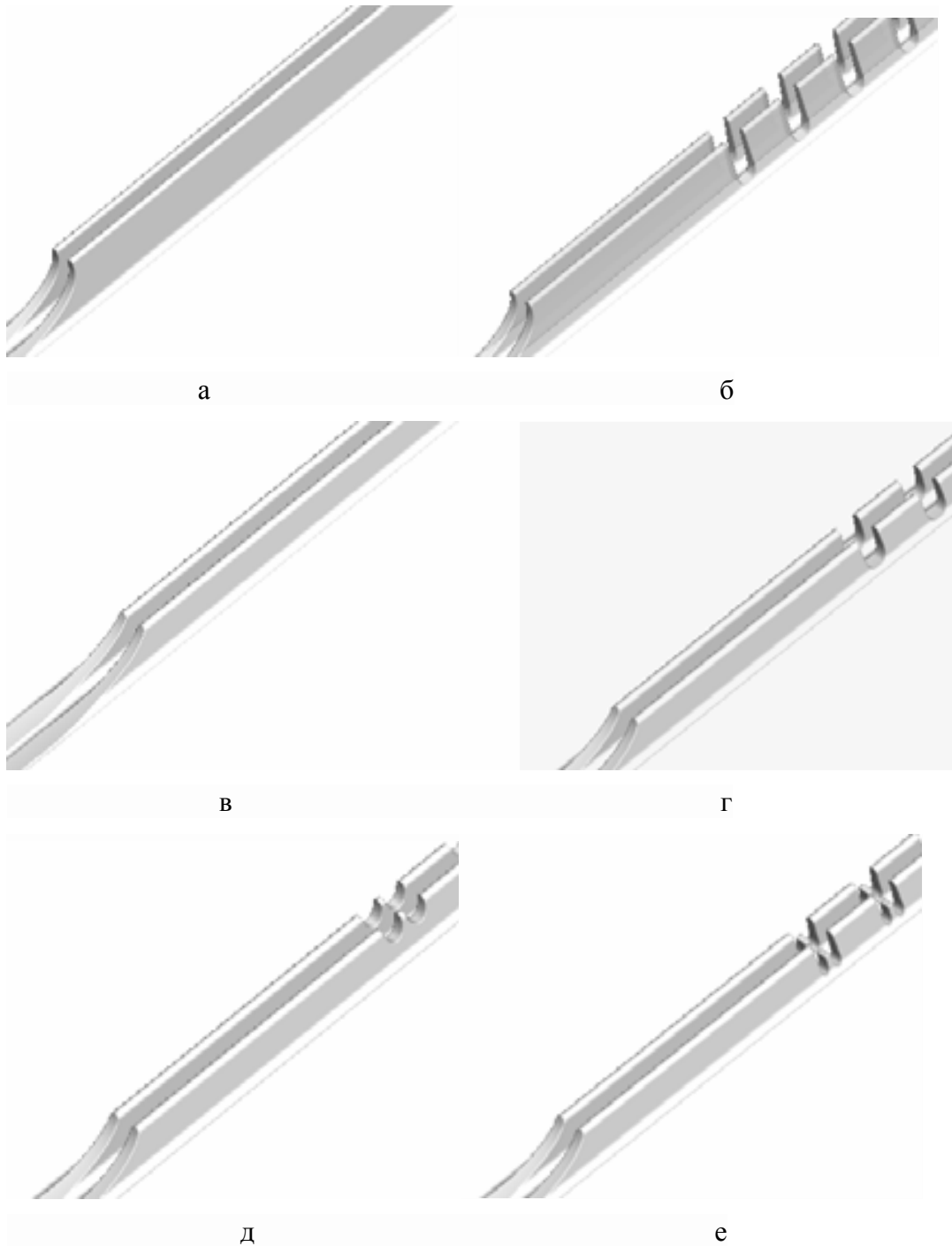
#### 1.2.5 Повздовжнє штрихоподібне оребрення

Внутрішні ребра часто використовується для поліпшення теплопередачі в теплообмінному обладнанні [13]. Для збільшення ефективності цього методу в останні 20 років виконують поперечні розрізи в ребрах. Однак пояснення зміни структури течії в канавках не було запропоновано. Нижче приведено результати і висновки дослідження впливу розмірів і форми штрихоподібного оребрення на зміну тепловіддачі ребер параболічної форми при двох значення їх товщини і висоти.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця методів інтенсифікації

Метод інтенсифікації		Nu/Nu <sub>0</sub>	ξ/ξ <sub>0</sub>	Переваги	Недоліки
		Re 10 <sup>4</sup> ÷2•10 <sup>4</sup>			
Кільцеві діафрагми		2,6÷2,7	2÷4	Розроблена методика виготовлення труб з кільцевими турбулізаторами	Підвищена забруднюваність; зміна конструкції
Гвинтова стрічкова вставка		1,8÷2,34	2,6÷4,5	Простота виготовлення і установки без зміни конструкції	Високі значення гідравлічного опору
Шнекова вставка		1,1÷1,75	2,2÷4,8	Простота встановлення без зміни конструкції	Високі значення гідравлічного опору
Сферичні виступи і виймки на стінках каналу		0,95÷1,3	1÷1,7	Використання в реальних установках	Складність виготовлення виямок; Підвищена забруднюваність лунок; зміна конструкції
Спіральні перегородки		2,6	1	Ліквідація застійних зон, участків з повздовжнім омиванням труб і з гальмуванням, поворотом і розгоном потоку	Складність виготовлення гвинтової перегородки
Щільноупаковані пучки кручених труб з поперечними канавками		2,5÷3	1,5	Збільшення тепловіддачі всередині і ззовні труб при помірному зростанні гідравлічного опору	Підвищена забруднюваність; зміна конструкції
Акустичне поле (пульсація потоку газу, вібрація поверхні теплообміну)		1,5÷2	—	Очистка поверхні теплообміну від забруднень; використання в реальних установках; можливість управління процесом теплообміну; збереження конструкції	Підвищена шумність і вібрація; установка додаткового обладнання і як наслідок – зниження надійності і подорожання
Електромагнітне поле		2÷2,5	—	Можливість управління процесом теплообміну; відсутність опору потоку теплоносія; збереження конструкції	Підвищене значення напруженості поля і частоти струму; необхідність в установці додаткового обладнання

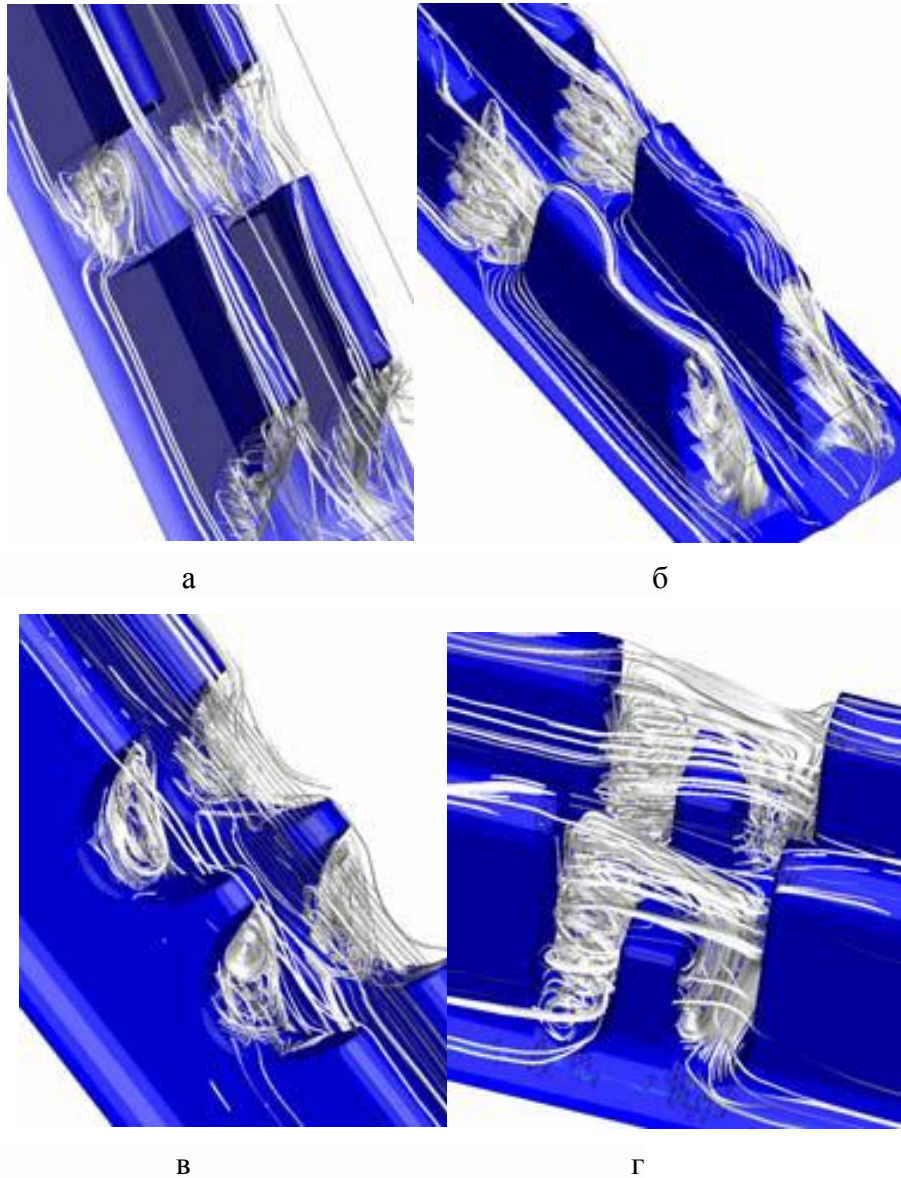
Дослідження були проведені на таких видах ребер:



варіант 1, площею оребрення ділянки  $S = 1.1039 \text{ м}^2$  - а; варіант 2,  $S = 0.9354 \text{ м}^2$  - б; варіант 3,  $S = 0.6809 \text{ м}^2$  - в; варіант 4,  $S = 0.6224 \text{ м}^2$  - г; варіант 5,  $S = 0.65 \text{ м}^2$  - д; варіант 4,  $S = 0.649 \text{ м}^2$  - е.

Рисунок 1.8 – Варіанти геометрії внутрішніх ребер

На рисунку 1.9 зображене моделювання руху теплоносія біля ребер виконане у програмі ANSYS Fluent [14].



варіант 2 - а; варіант 4 - б; варіант 5 - в, варіант 6 - г  
Рисунок 1.9 – Просторова структура течії в міжреберному каналі

Спроба провести порівняння ефективності оребрення різної геометрії була зроблена за допомогою величини  $\xi = \frac{T_{rt} - T_f}{T_{rb} - T_f}$ , де  $T_f = 1973$  К - температура газу на виході з пальника,  $T_{rt}$  і  $T_{rb}$  визначаються в розрахункових осередках обсягу, моделює газ, і що мають спільні межі з об'ємом, що моделює оребрена поверхню [15].

Використання штрихоподібного оребрення не дає помітного ефекту по інтенсифікації теплообміну для досліджуваного теплообмінного пристрою. Згідно з отриманими результатами, при однакових теплових і аеродинамічних навантаженнях ефективніше виявляються ребра без кільцевих канавок. Для варіанту з висотою ребра 12.75 мм, шириною основи ребра 3 мм і

штрихоподібним оребренням ефективність ребра складає  $\xi = 0.76$ ; для варіанти з висотою ребра 9.6 мм, шириною основи ребра 3.7 мм і кільцевими канавками -  $\xi = 0.85$ .

Подальші зміни геометрії кільцевих канавок для варіанту з висотою ребра 9.6 мм і шириною основи ребра 3.7 мм привели до того, що ефективність ребра зменшилася з значення  $\xi = 0.85$  до  $\xi = 0.83$  (тобто приблизно на 2%). Однак, при цьому площа поверхні тепловіддачі зменшилася приблизно на 5%.

Результати розрахунків показали, що з розглянутих варіантів з штриховим оребренням найбільш перспективним є варіант з площею поверхні тепловіддачі  $0.649 \text{ м}^2$ , який дозволяє знизити температуру димових газів на виході до 347 K і нагріти воду до 362 K [16].

### **1.3 Висновки з розділу 1, постановка задачі і програма досліджень**

Вибір оптимального методу інтенсифікації теплообміну визначається багатьма умовами, які в кожному конкретному випадку повинні бути враховані. Наведемо найважливіші з цих умов:

- цілі і завдання інтенсифікації тепловіддачі в конкретному класі ТУ;
- величина допустимих енергетичних витрат на інтенсифікацію теплообміну і від наявної для цього енергії;
- гідродинамічна структура потоку, в якому потрібно інтенсифікувати теплоотвідачу; характер розподілу густини теплових потоків або поле температур в теплоносію; доступні способи управління структурою потоку;
- технологічність виготовлення ТУ з інтенсифікацією тепловіддачі, зручність і надійність в експлуатації.

Необхідно відзначити, що при виборі на практиці того чи іншого методу інтенсифікації теплообміну доводиться враховувати не тільки ефективність самої поверхні, але і її універсальність для різних однофазних і двофазних теплоносіїв, технологічність виготовлення поверхні, технологічність збірки апарату, вимоги на міцність, закрязняємість поверхні, особливості експлуатації і т.д.. Всі ці обставини істотно знижують можливості вибору одного з численних досліджених методів інтенсифікації.

Я вирішив дослідити вплив на зміну тепловіддачі повздовжнього внутрішнього оребрення тому, що запропонований тип оребрення в пункті 1.2.5 не є достатньо ефективним, а повздовжнє оребрення майже не впливає на гідравлічний опір і дає можливість істотно інтенсифікувати тепловіддачу всередині труби.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ У ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕНІ SOLIDWORKS

В магістерській дисертації заплановано дослідити вплив внутрішнього оребрення, швидкості потоку та матеріалу трубки на теплообмін в трубках апаратів повітряного охолодження. Для цього необхідним було проведення низки експериментів з дослідження процесу теплообміну для внутрішніх повздовжніх ребер з різною геометрією ребра. В зв'язку з тим, що проведення натурних дослідів є енерго- та капіталозатратним, прийнято рішення створити математичну модель, яка буде адекватно відображати процес теплообміну в трубках АПО.

Після верифікації та валідації математичної моделі отримані результати можна порівнювати та переносити на реальні установки.

Повна математична модель трубки апарата повітряного охолодження дозволяє отримати температурний розподіл, розподіл швидкостей та поверхневі параметри на внутрішній поверхні труби, а саме: коефіцієнт тепловіддачі та тепловий потік.

Математичне моделювання було здійснене в програмі Solid Works [17].

### 2.1 Постановка задачі

*Ціль роботи:* отримати розподіл температури, швидкості по повздовжньому перерізу трубки та поверхневі параметри внутрішньої поверхні трубки.

Задачі, які необхідно вирішити:

- 1) Побудувати спрощену 3D-модель трубки апарата повітряного охолодження;
- 2) Задати граничні умови та провести розрахунок гладкої та оребреної трубки в середовищі FlowSimulation;
- 3) Проаналізувати адекватність побудованої моделі гладкої трубки порівнявши отримані результати з результатами розрахунку гладкої трубки;
- 4) Провести розрахунки для різних матеріалів трубки та різних швидкостей потоку в середовищі FlowSimulation.

## 2.2 Моделювання гладкої трубки апарату повітряного охолодження

Для спрощення розрахунку теплообміну в трубному пучку розглянемо одну трубку, по якій тече вода і яка омивається водою.

Для моделювання була вибрана трубка з зовнішнім діаметром 25мм і внутрішнім діаметром 21мм виконана з нержавіючої сталі. Також для спрощення розрахунків була прийнята довжина труб 10 см (рисунок 2.1). Граничні умови приймаємо такі:

- температура води на вході в трубки  $T = 65\text{ }^{\circ}\text{C} = 338\text{ K}$ ;
- температура води що омиває трубний пучок  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C} = 308\text{ K}$ ;
- швидкість води всередині трубки  $w = 1\text{ м/с}$ ;
- швидкість води що омиває трубний пучок  $0,2\text{ м/с}$ ;
- теплопровідність трубки  $\lambda = 16,3\text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .

На рисунках 2.1, 2.2 та 2.4 зображені модель, розподіли температур, швидкостей та на рисунку 2.3 зображена траекторія руху потоку для гладкої трубки.

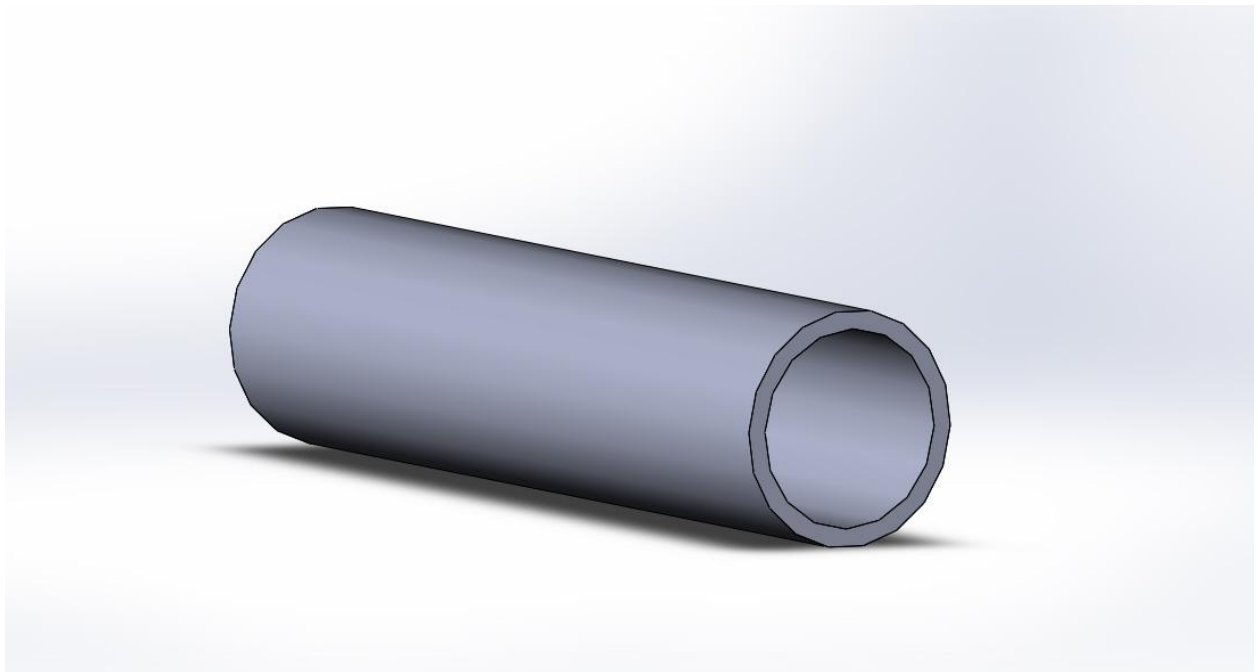


Рисунок 2.1 – Модель гладкої трубки (без оребрення)

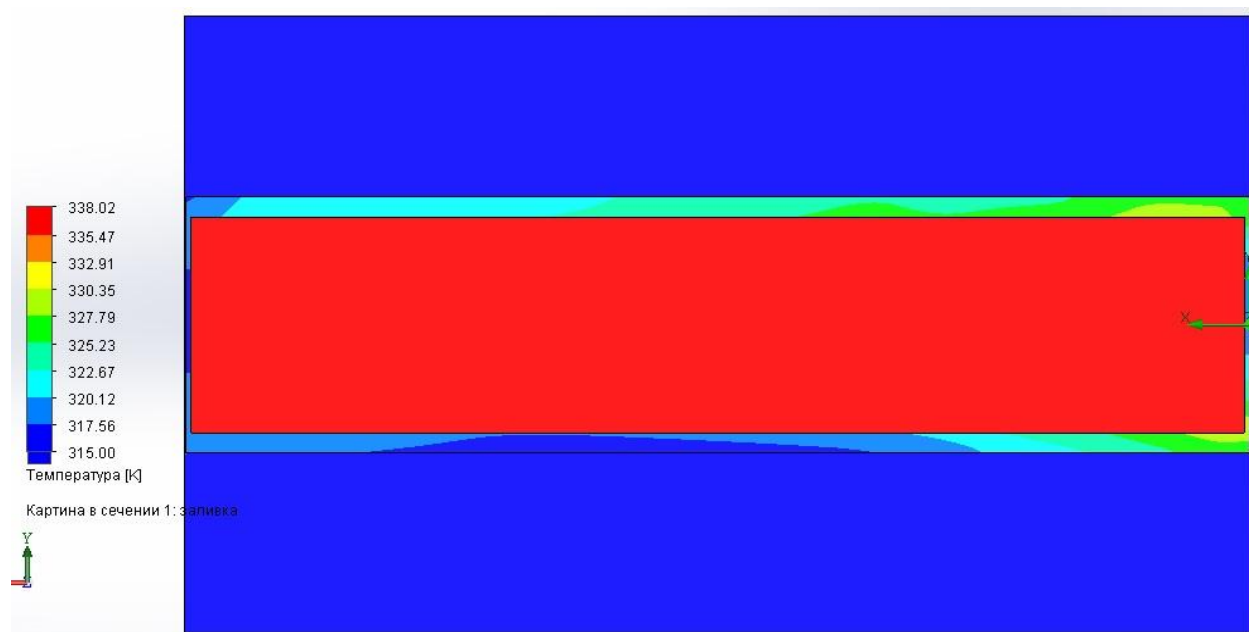


Рисунок 2.2 – Розподіл температур в гладкій трубці

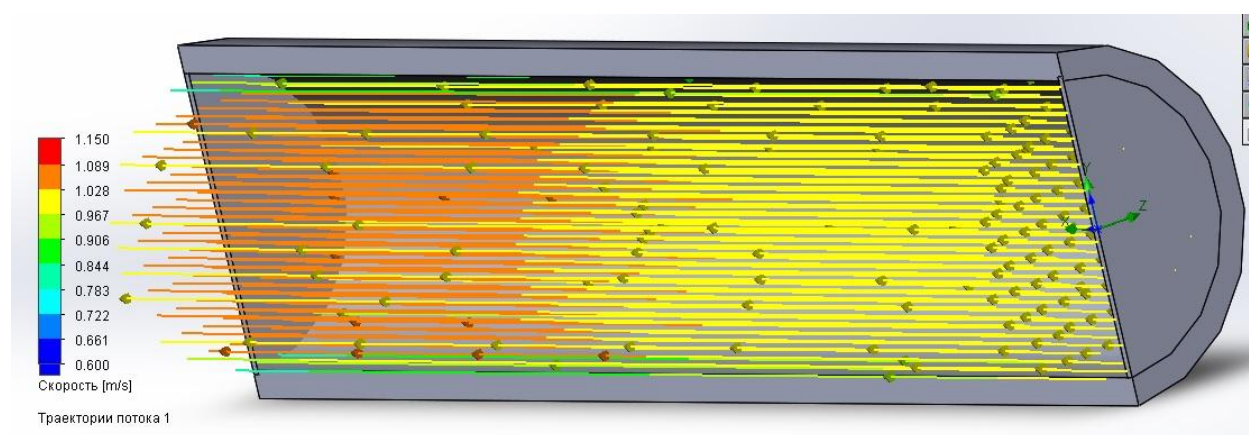
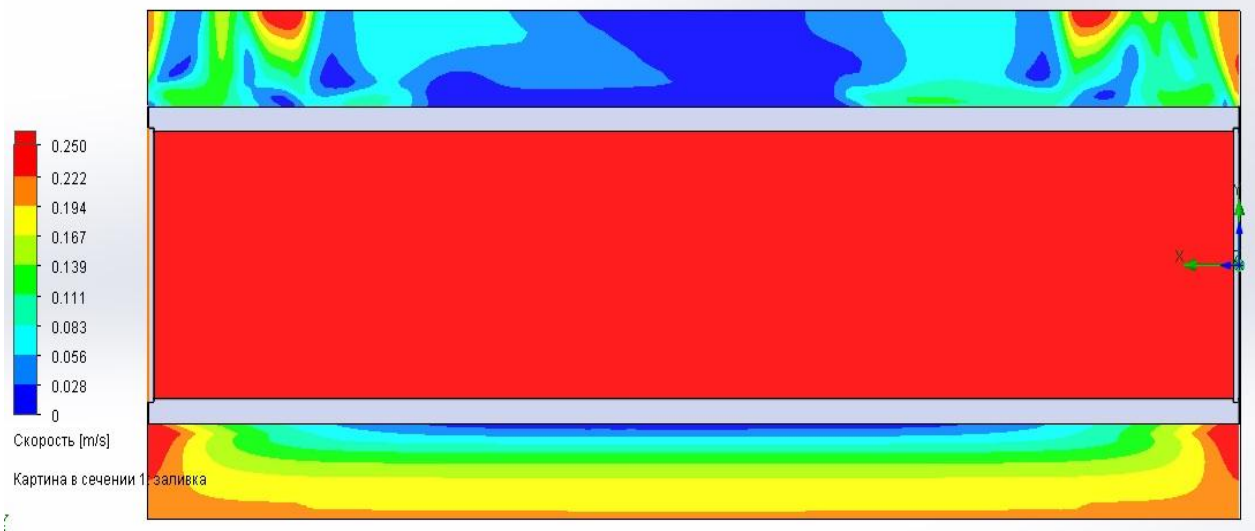
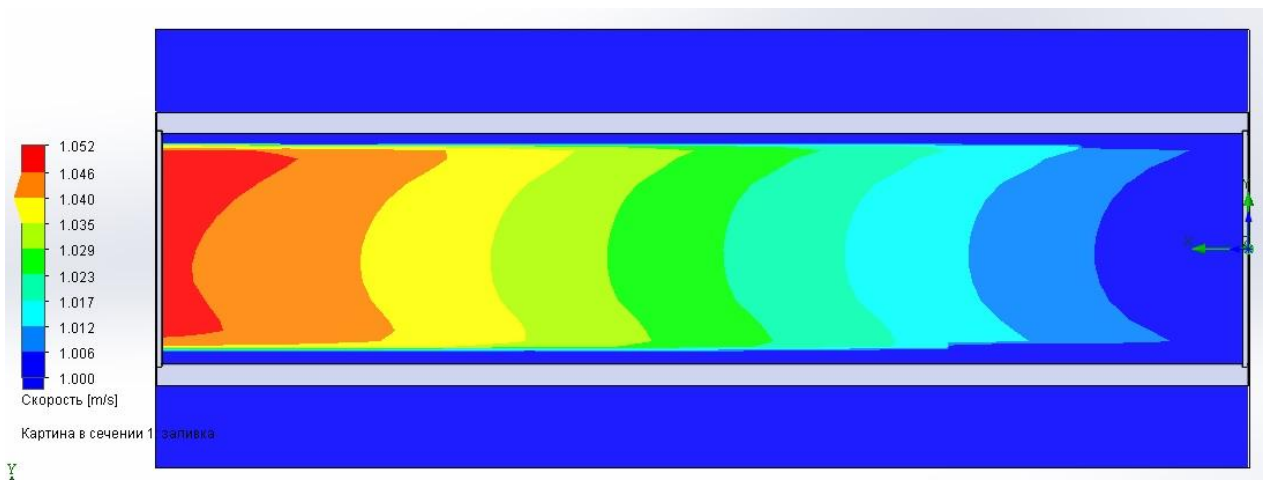


Рисунок 2.3 – Траекторія руху потоку в гладкій трубці





а



б

а - 0-0,25 м/с, б - 1-1,052 м/с.

Рисунок 2.4 – Розподіл швидкостей в гладкій трубці в межах швидкостей.

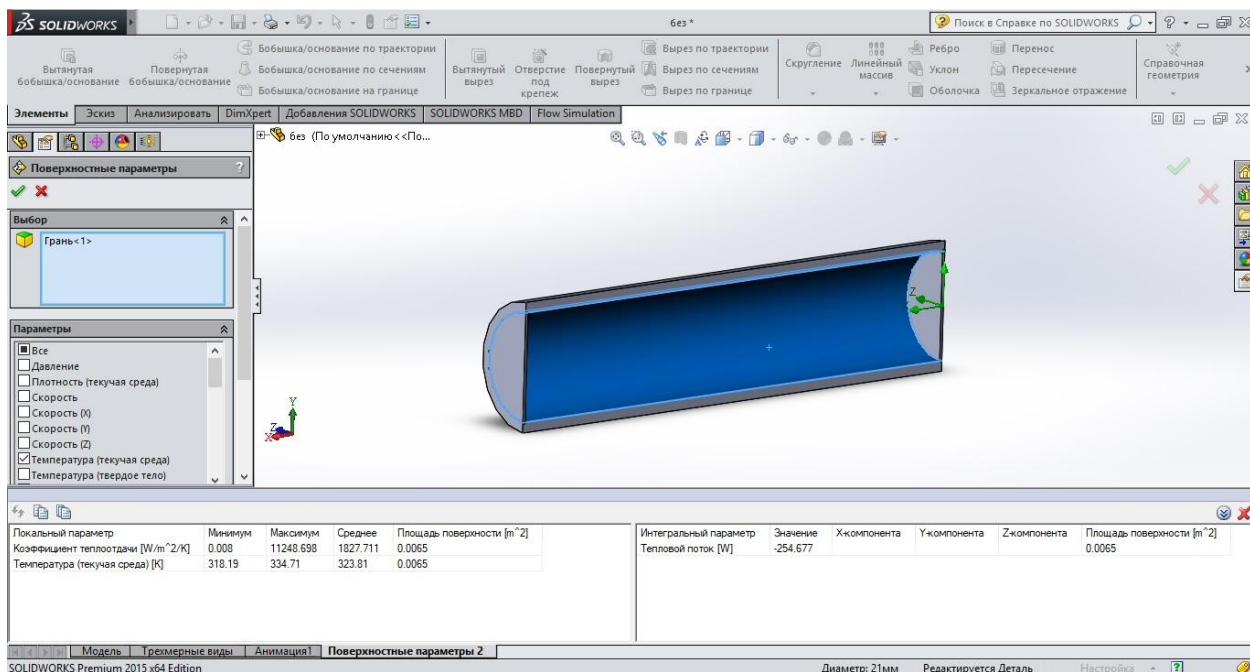


Рисунок 2.5 – Результаты моделювання в гладкій трубці

На рисунку 2.5 зображені поверхневі параметри (коефіцієнт тепловіддачі та тепловий потік) для гладкої трубки.

## 2.3 Розрахунок гладкої трубки апарату повітряного охолодження

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (2.1)$$

де  $\nu$  – кінематична в'язкість,  $m^2/s$ ;

$w$  – швидкість води в трубці,  $m/s$

$d$  – внутрішній діаметр трубки,  $m$

При діаметрі трубки  $0,021m$ , кінематичній в'язкості  $0,4465 \cdot 10^{-6} m^2/s$  при температурі  $t = 65^\circ C$ , швидкості води в трубці  $1 m/s$  величина числа Рейнольдса

$d = 0,021m$  – діаметр трубки

$$Re = \frac{1 \cdot 0,021}{0,4465 \cdot 10^{-6}} = 47032 > 10000 - \text{режим потоку розвинутий турбулентний.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі

Для наших умов залежність для коефіцієнта тепловіддачі зі сторони продукту всередині труб за джерелом [4] має вигляд:

$$\alpha_{\text{вн}} = 0,021 \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \text{Re}_m^{0,8} \cdot \text{Pr}_m^{0,43} \cdot \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_c} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_R, \quad (2.2)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності води по температурі, знаходимо з джерела [3];  
 $\text{Pr}$  - число Прандтля по температурі потоку, знаходимо з джерела [3];  
 $\text{Pr}_c$  - число Прандтля по температурі стінки, знаходимо з джерела [3];  
 $\varepsilon_l$  - втрати на довжину, так як довжина труб лише 10см;  
 $\varepsilon_R$  - нехтуємо втратами на кривизну, бо труби - прямі.

При коефіцієнті теплопровідності  $0,6635 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , числу Прандтля 2,74, числу Прандтля по температурі стінки 3,54 та втратами на довжину 1,18 та кривизну 1 величина коефіцієнта тепловіддачі

$$\alpha_{\text{вн}} = 0,021 \cdot \frac{0,6635}{0,021} \cdot 47032^{0,8} \cdot 2,74^{0,43} \cdot \left( \frac{2,74}{3,54} \right)^{0,25} \cdot 1 \cdot 1,18 = 1964 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Розходження результатів моделювання та розрахунків  $< 10\%$ , отже можна використовувати SolidWorks для подальшого моделювання.

#### 2.4 Моделювання труб з різними параметрами внутрішнього оребрення

На рисунках 2.6 – 2.10 показані модель трубки, розподіли температур, швидкостей та результати моделювання для трубки з внутрішнім оребренням шириною і висотою ребра 1х1мм. Граничні умови такі ж як і у попередньому досліді.

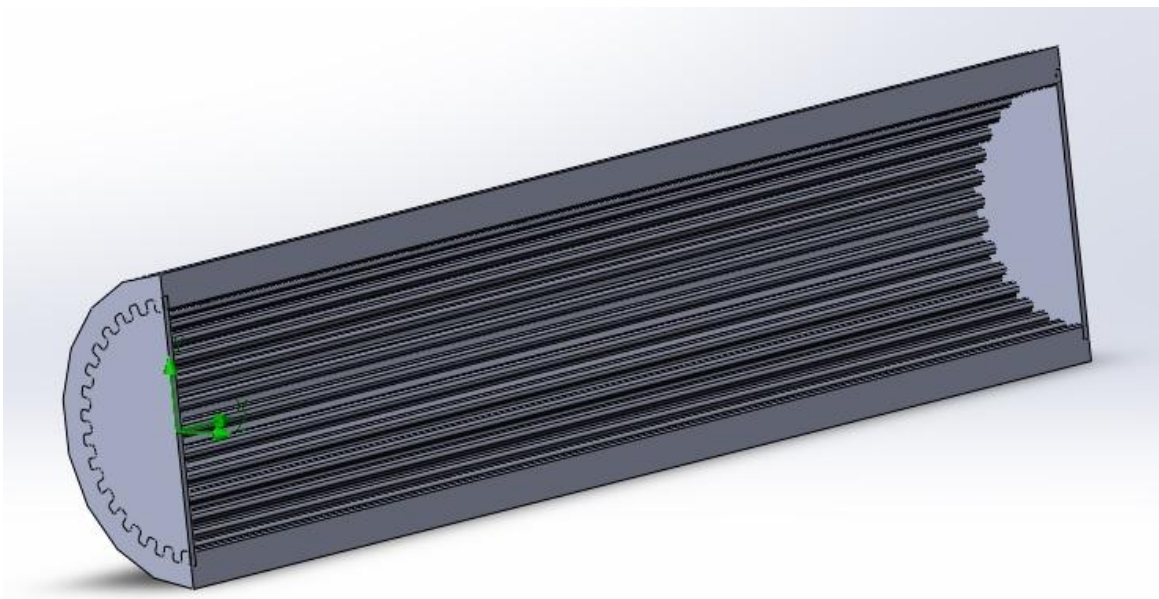


Рисунок 2.6

– Модель трубки з ребрами в трубці 1х1мм.

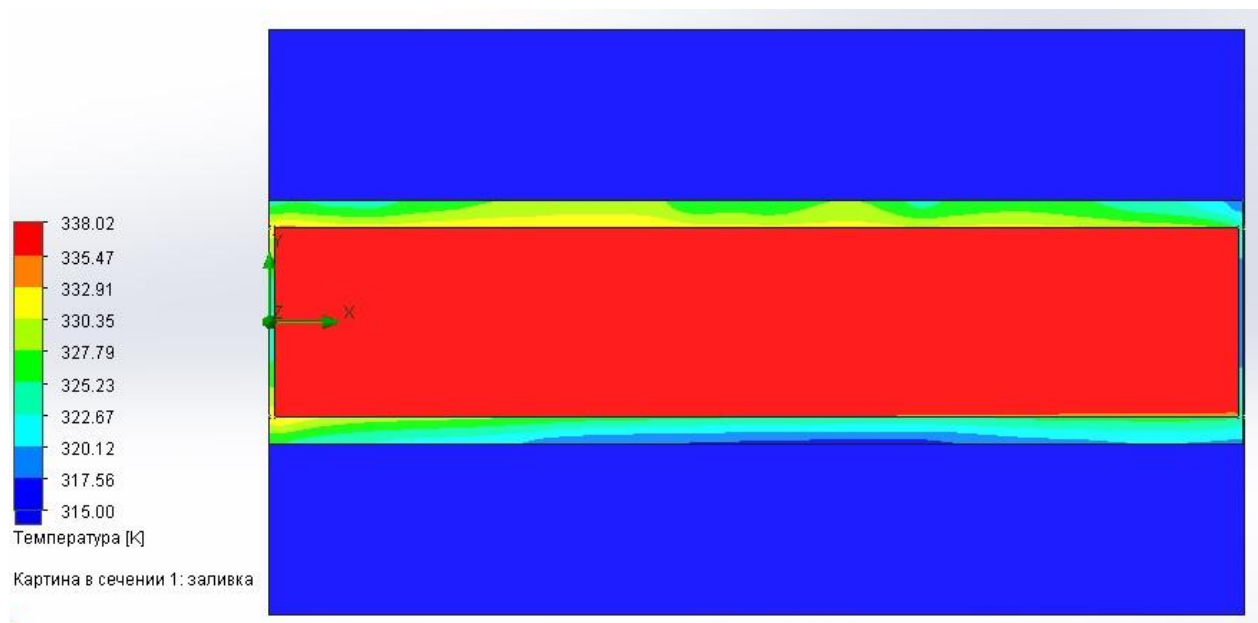
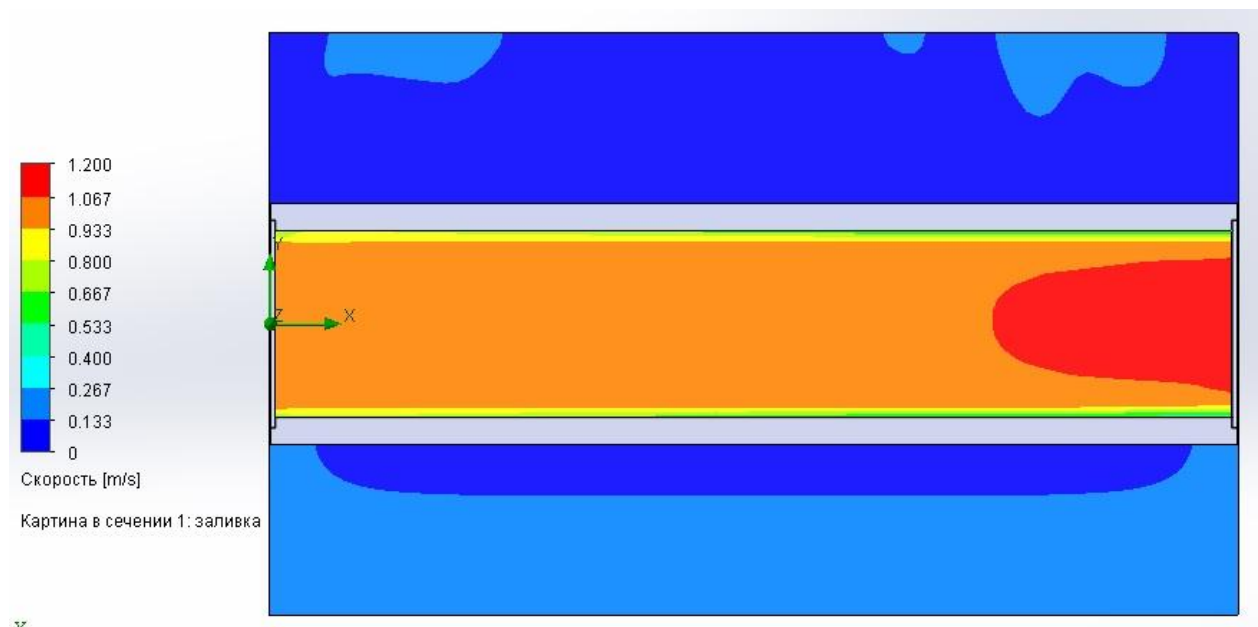
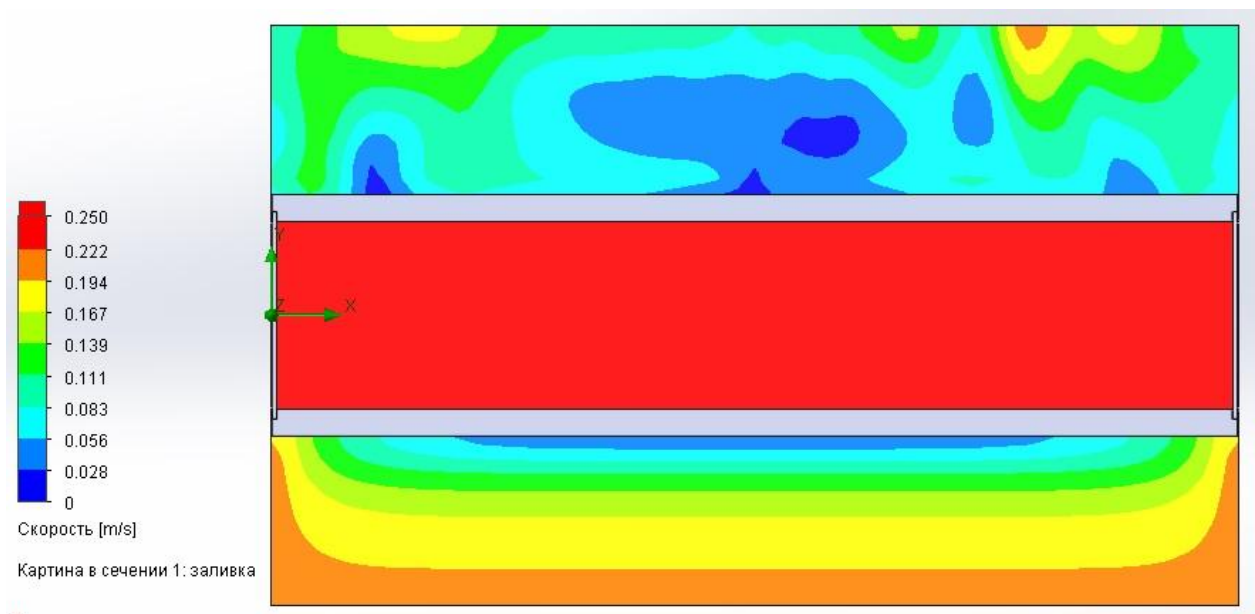


Рисунок 2.7 – Розподіл температур в трубці з ребрами 1x1мм.



а



б

а - 0-0,25 м/с, б - 1-1,2 м/с.

Рисунок 2.8 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 1х1мм в межах швидкостей.

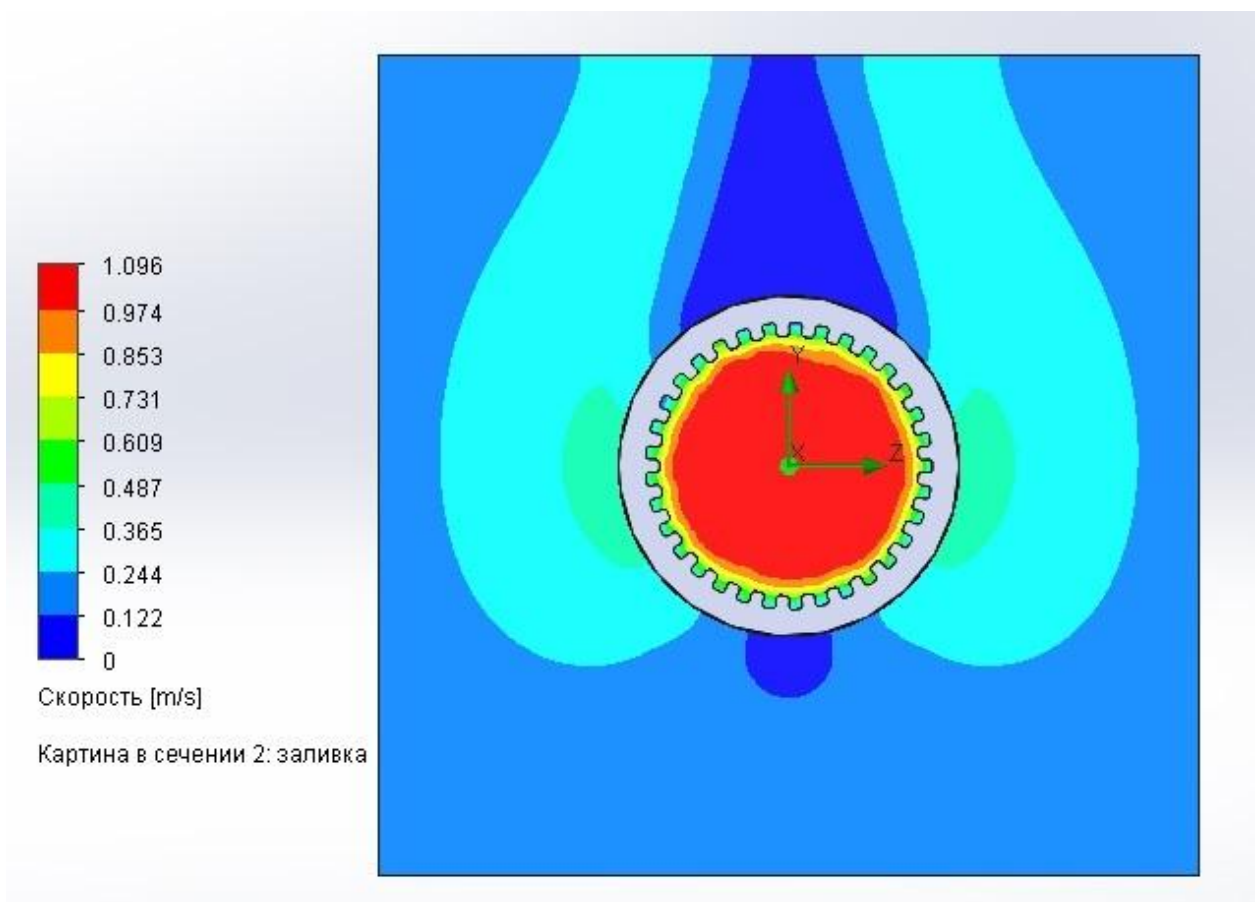


Рисунок 2.9 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 1х1мм в поперечному розрізі.

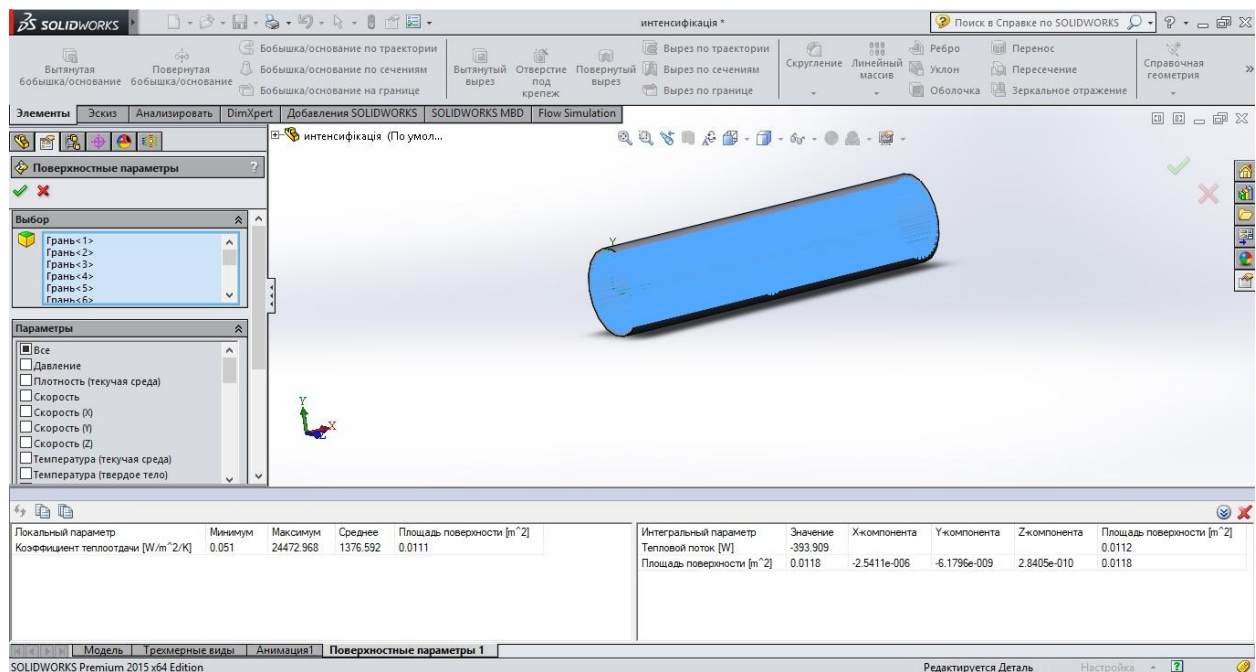


Рисунок 2.10 – Результаты моделирования трубки з ребрами 1x1мм

На рисунках 2.11 – 2.15 показані розподіли температур, швидкостей та результати моделювання для трубки з внутрішнім оребренням шириною і висотою ребра 1x2мм.

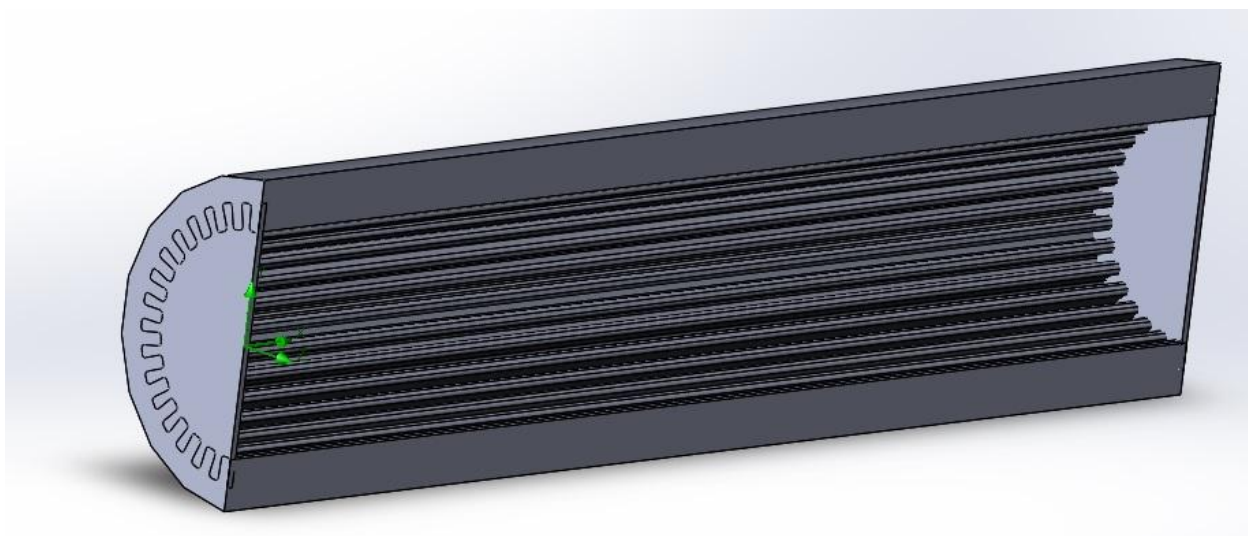


Рисунок 2.11 – Модель трубки з ребрами в трубці 1x2мм



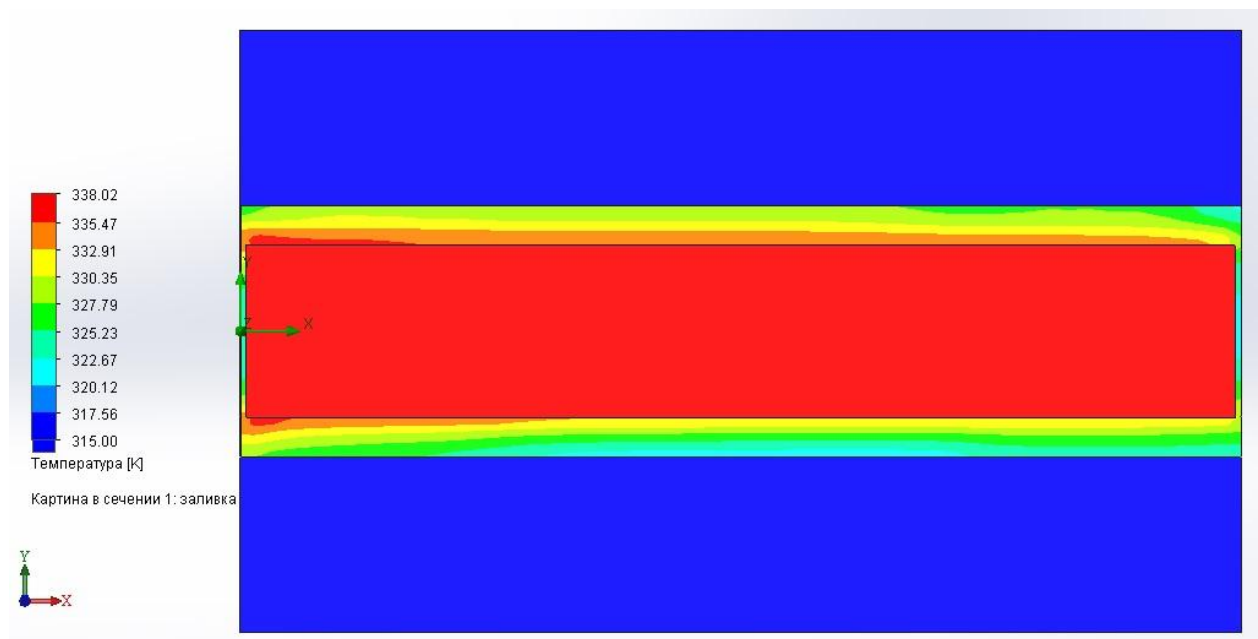
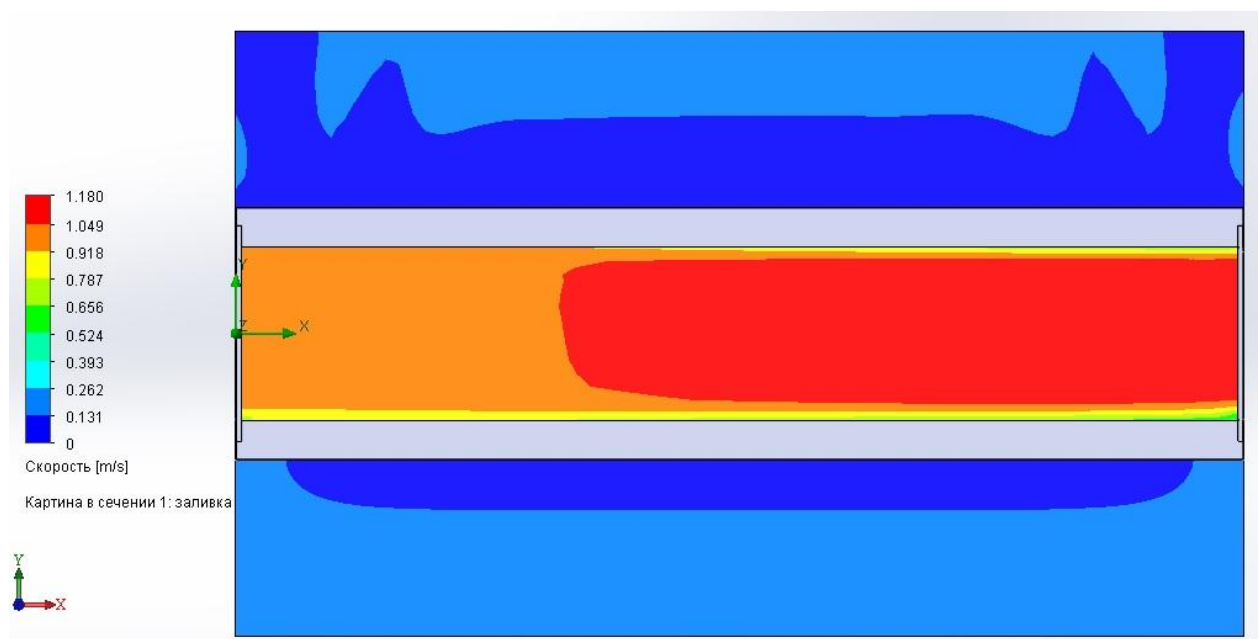
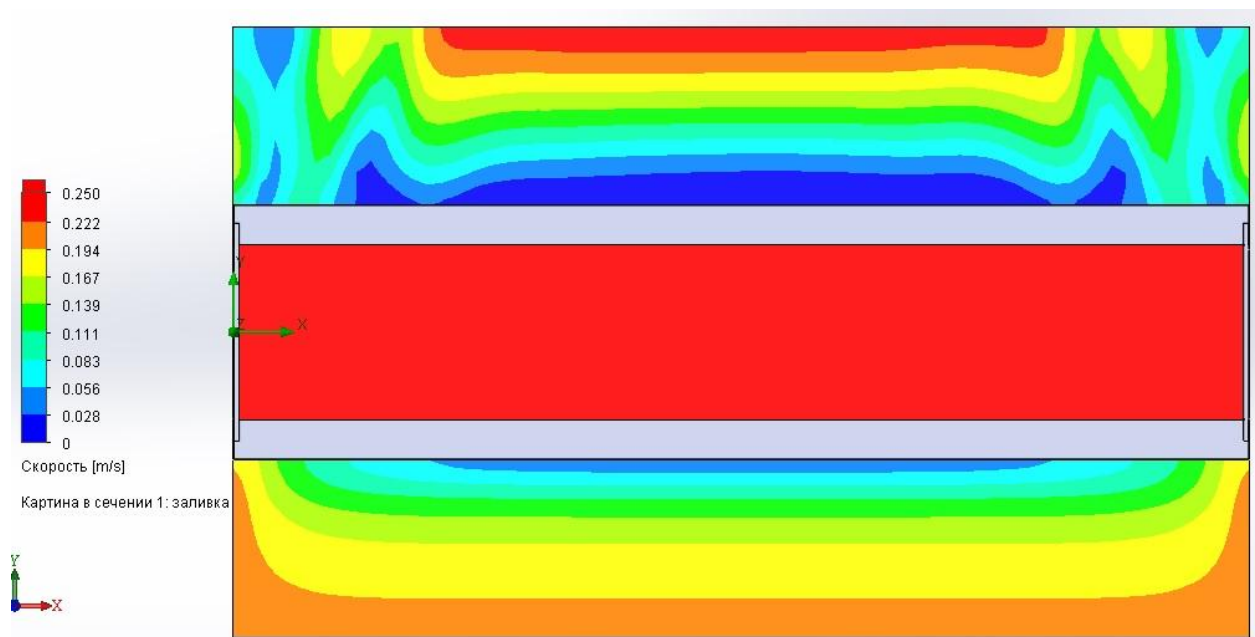


Рисунок 2.12 – Розподіл температур в трубці з ребрами 1x2мм





б

а - 0-0,25 м/с, б - 1-1,18 м/с.

Рисунок 2.13 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 1x2мм в межах швидкостей

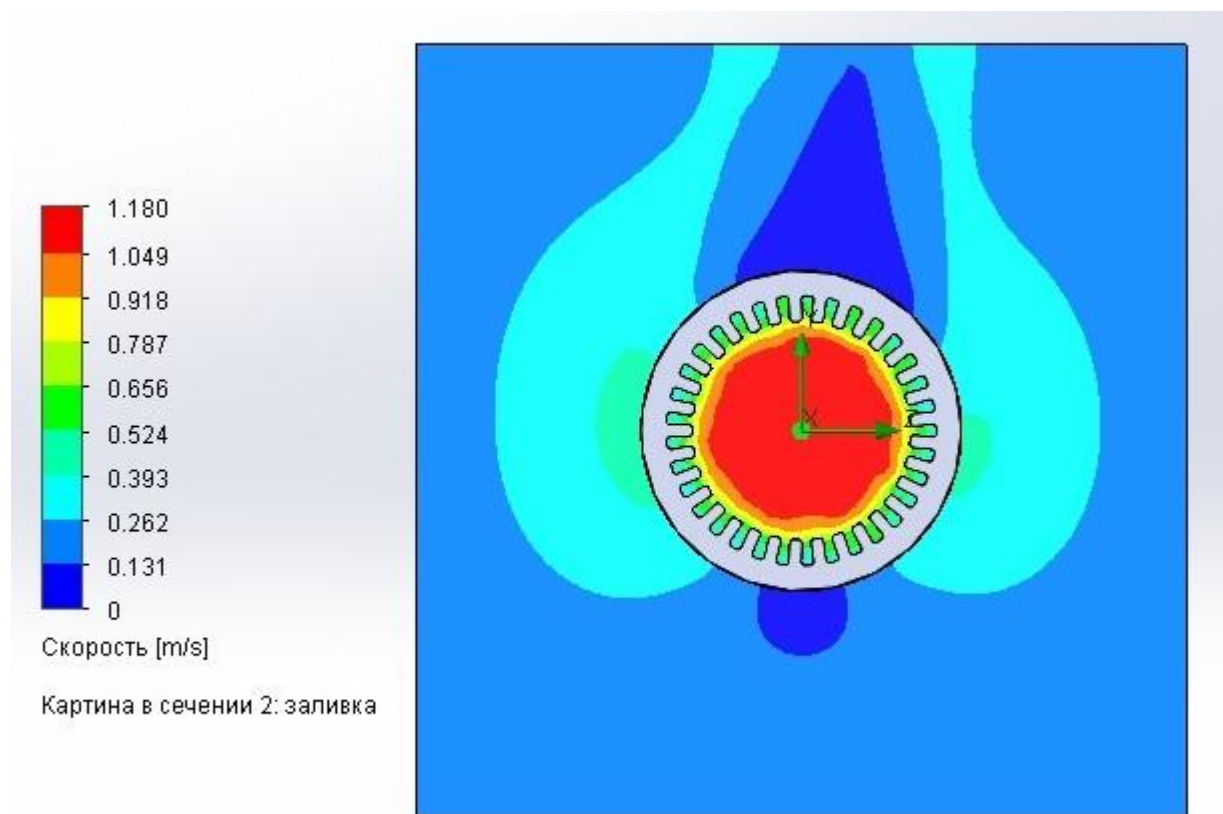


Рисунок 2.14 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 1x2мм в поперечному розрізі.



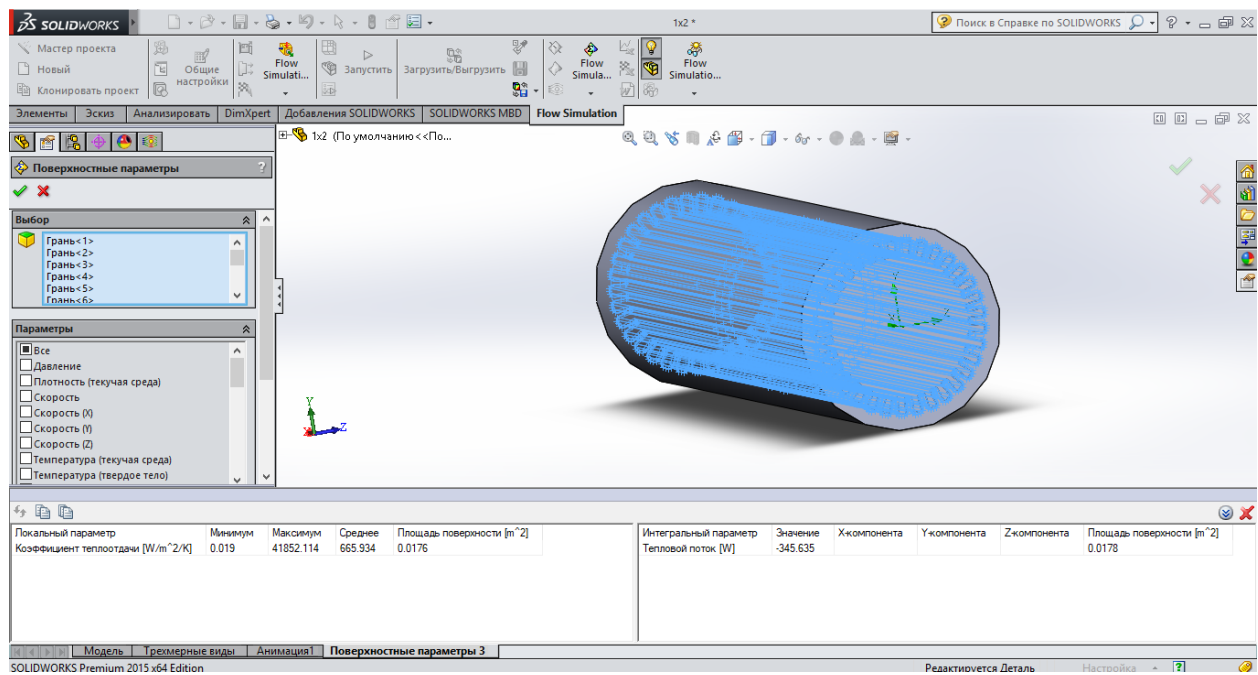


Рисунок 2.15 – Результаты моделирования трубки з ребрами 1x2мм

На рисунках 2.16 – 2.20 показані розподіли температур, швидкостей та результати моделювання для трубки з внутрішнім оребренням шириною і висотою ребра 1x3мм.



Рисунок 2.16 – Модель трубки з ребрами в трубці 1x3мм

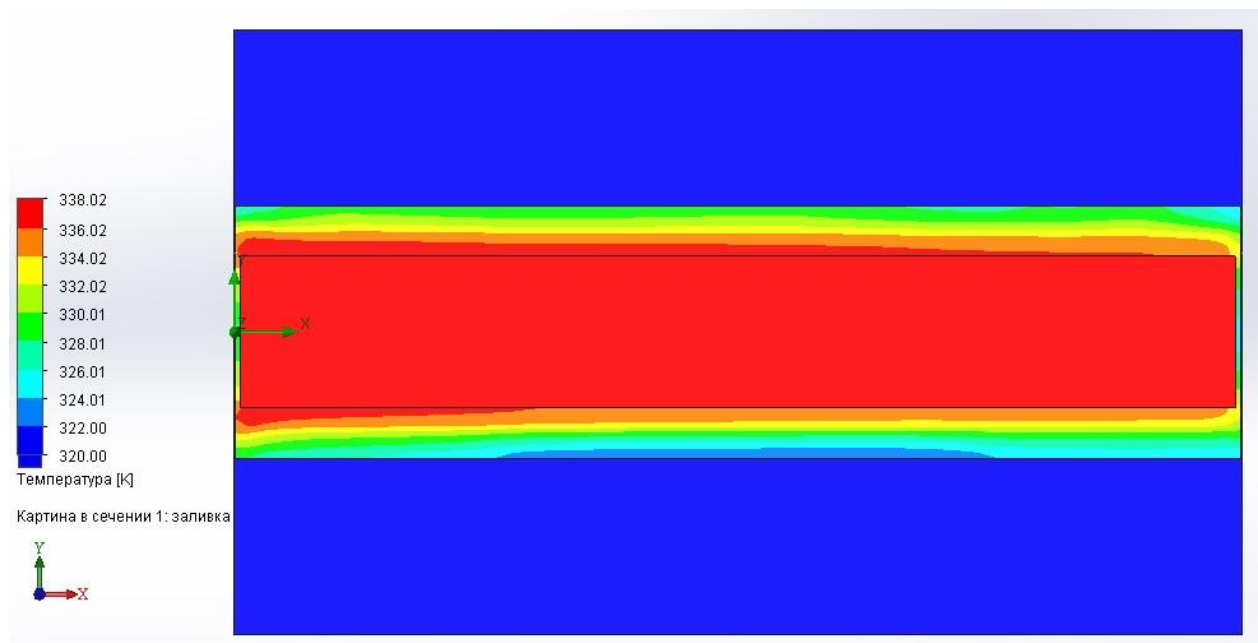
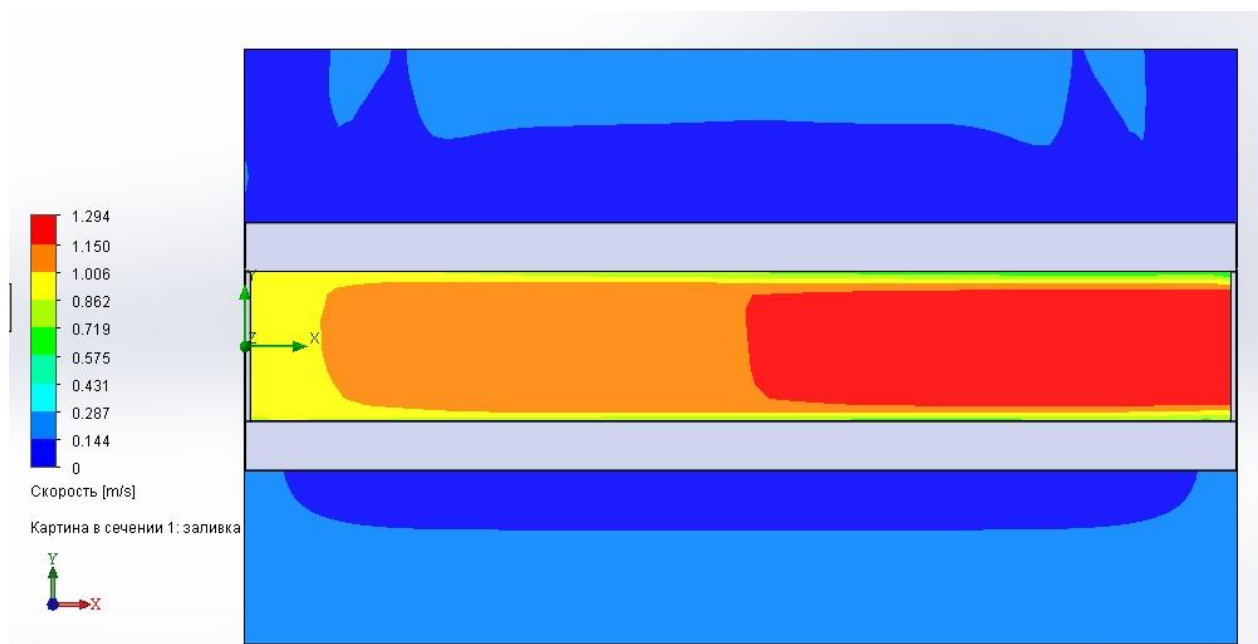
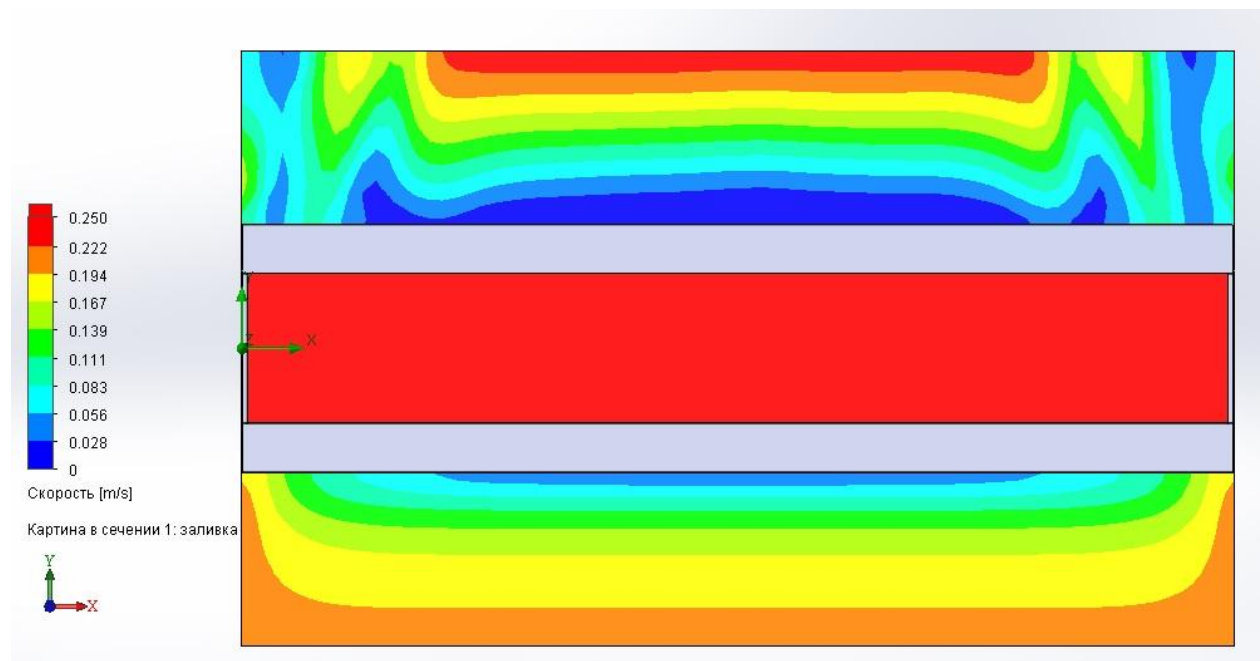


Рисунок 2.17 – Розподіл температур в трубці з ребрами 1x3мм



а



б

а - 0-0,25 м/с, б - 1-1,294 м/с.

Рисунок 2.18 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 1х3мм в межах швидкостей

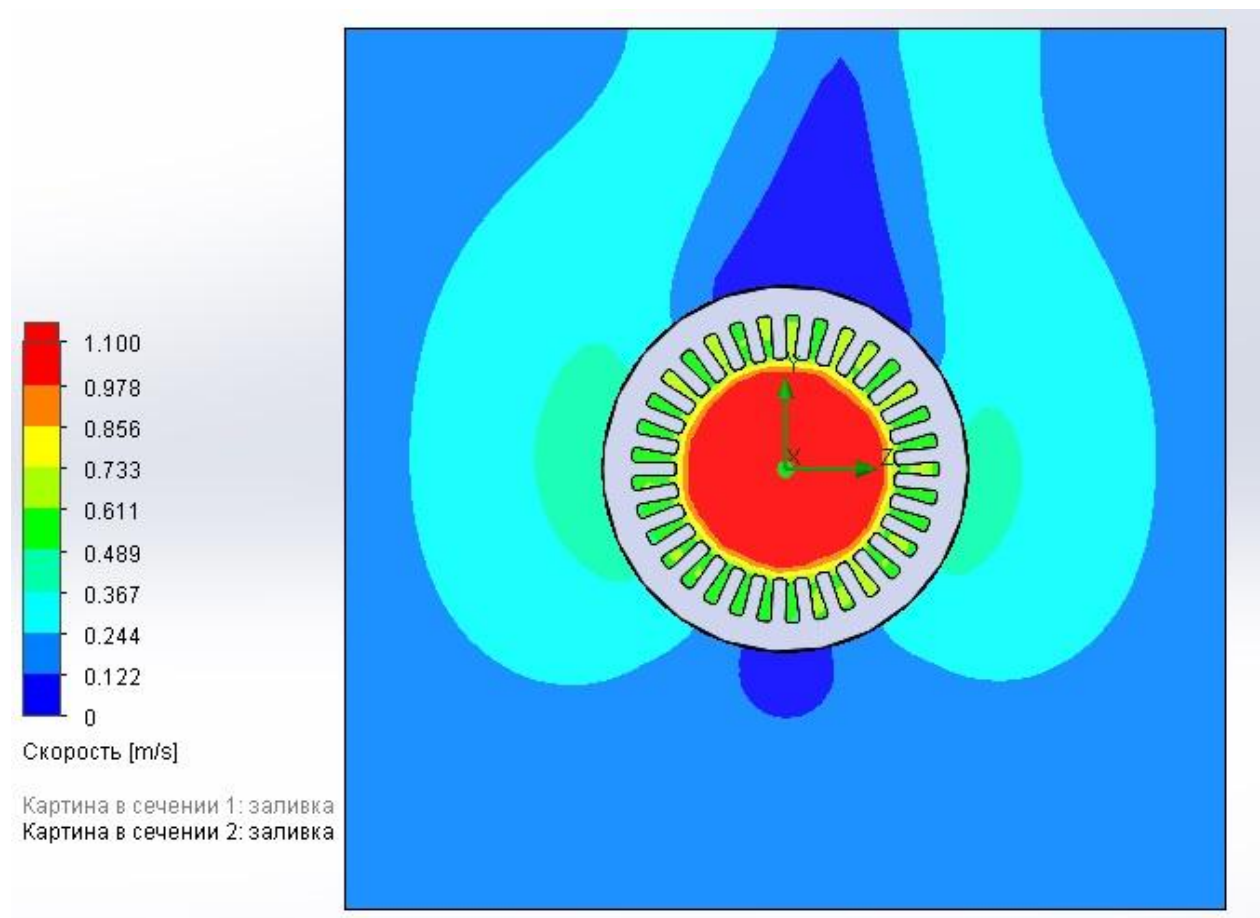


Рисунок 2.19 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 1х3мм в поперечному розрізі.

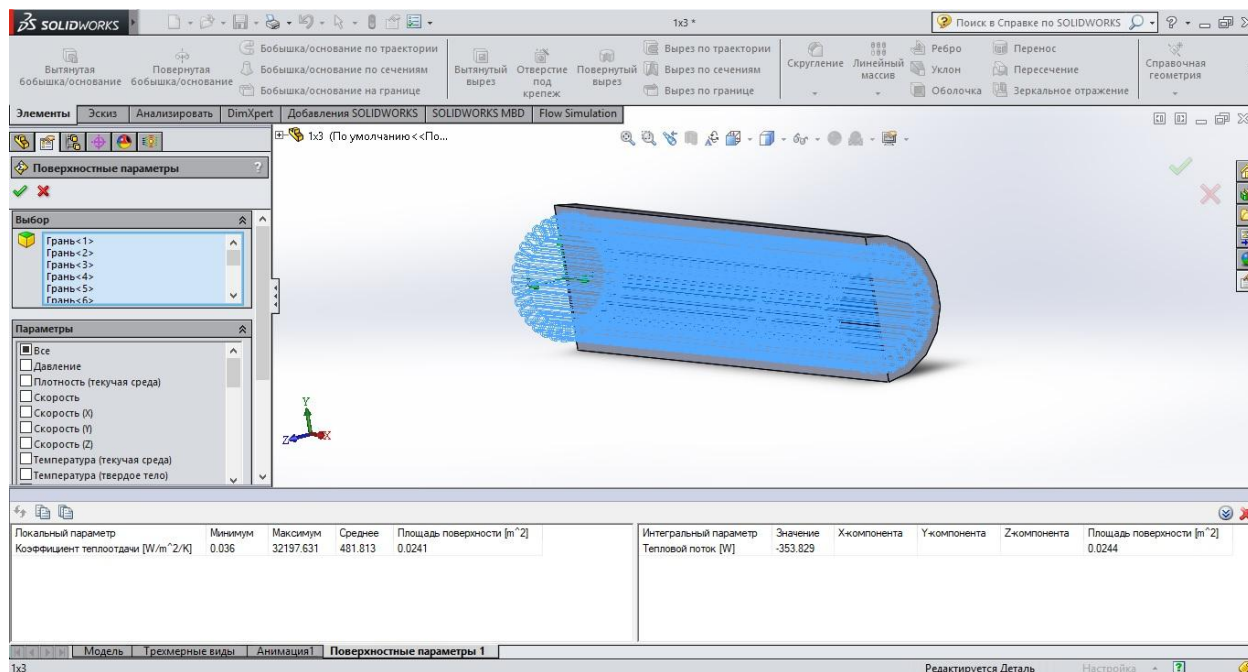


Рисунок 2.20 – Результаты моделирования трубки с ребрами 1x3мм

На рисунках 2.21 – 2.25 показані розподіли температур, швидкостей та результати моделювання для трубки з внутрішнім оребренням шириною і висотою ребра 2x2мм.

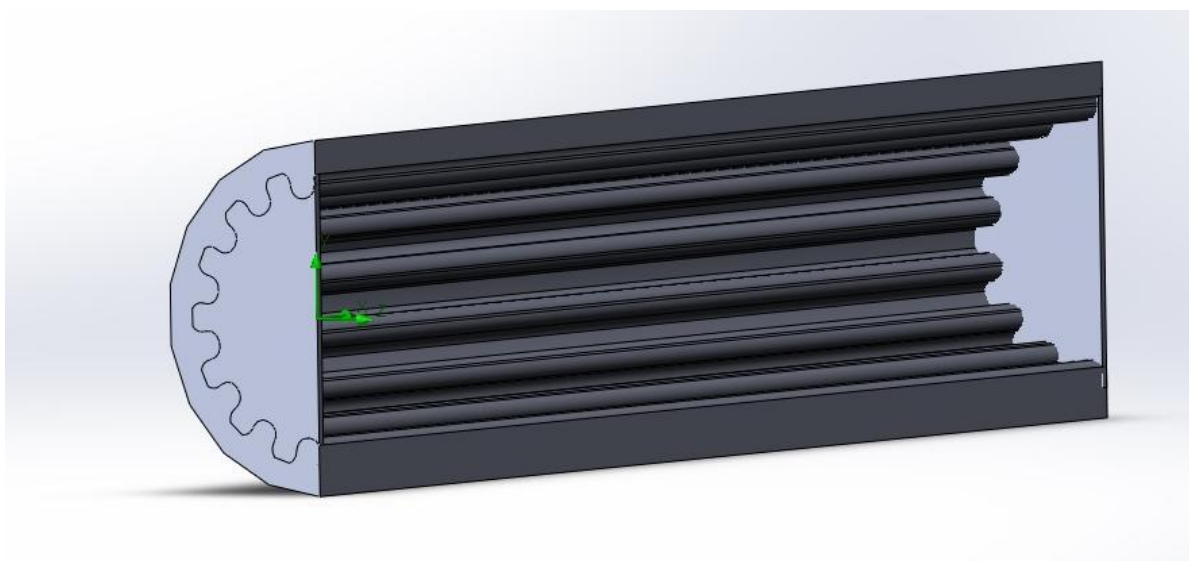


Рисунок 2.21 – Модель трубки с ребрами в трубці 2x2мм

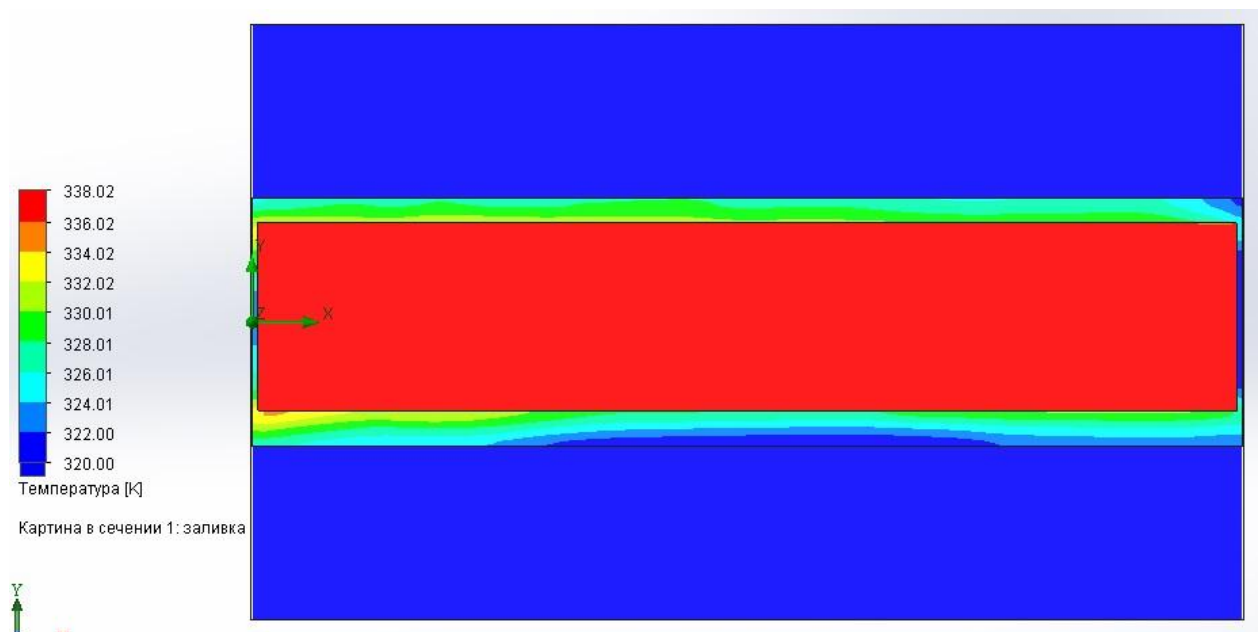
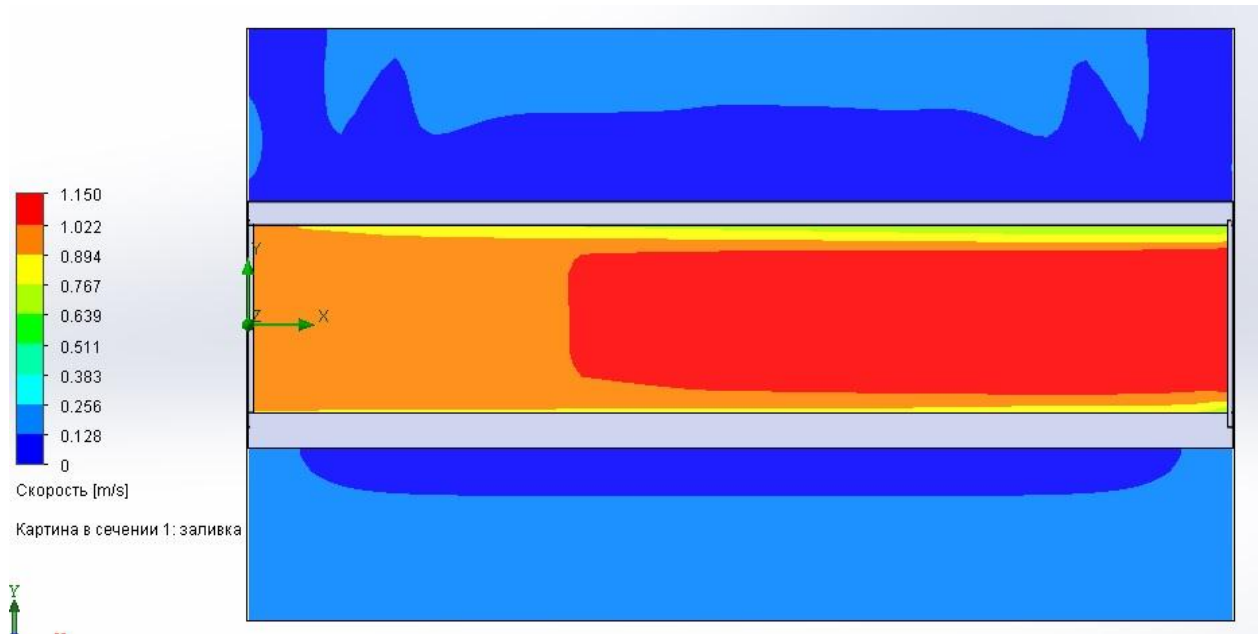
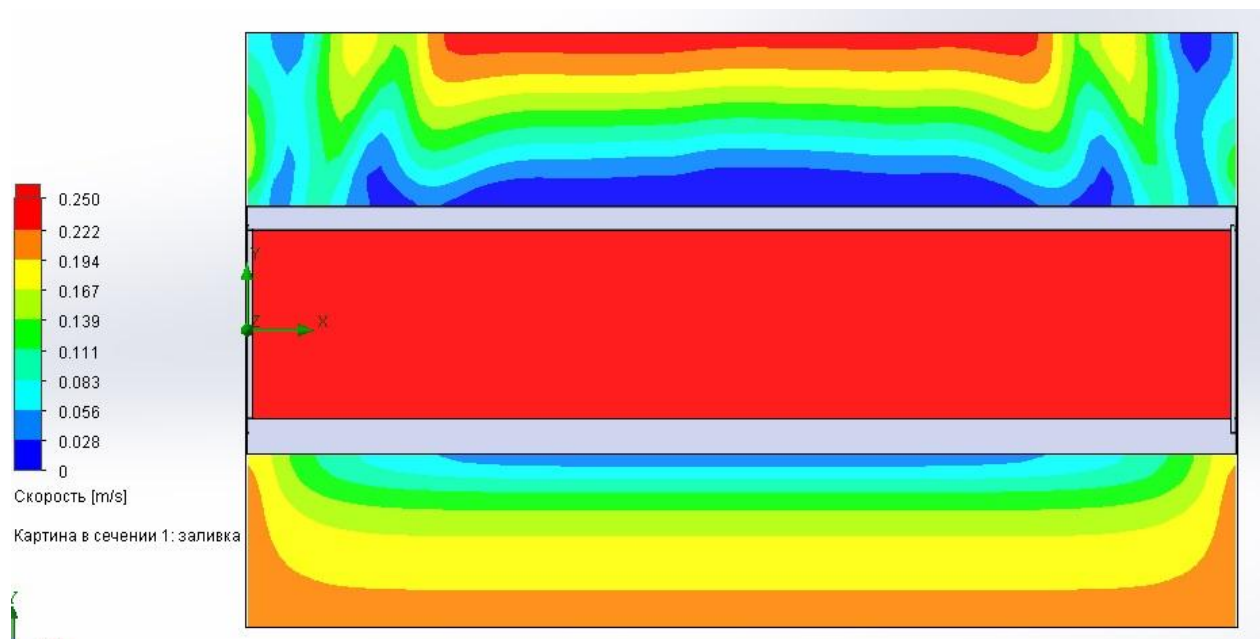


Рисунок 2.22 – Розподіл температур в трубці з ребрами 2х2мм



а



б

а - 0-0,25 м/с, б - 1-1,150 м/с.

Рисунок 2.23 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 2х2мм в межах швидкостей

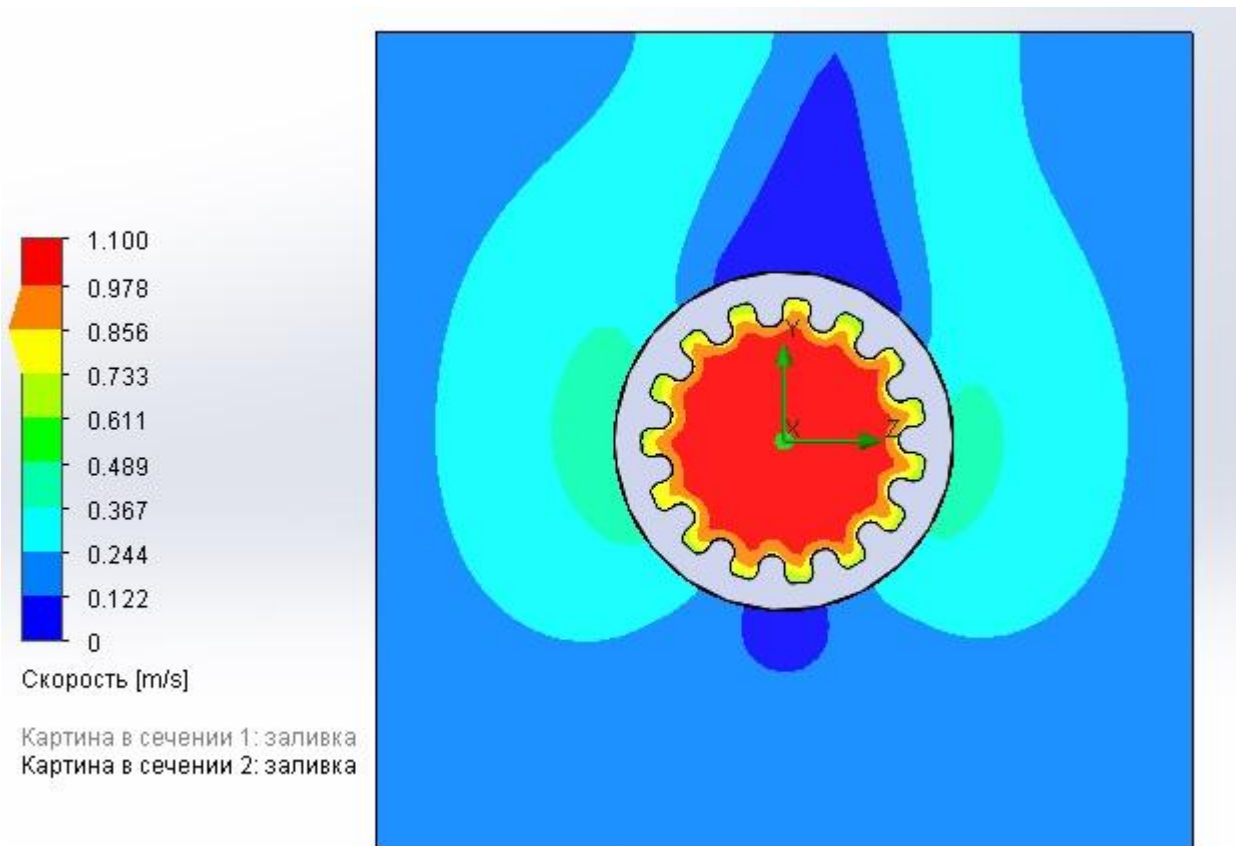


Рисунок 2.24 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 2х2мм в поперечному розрізі.



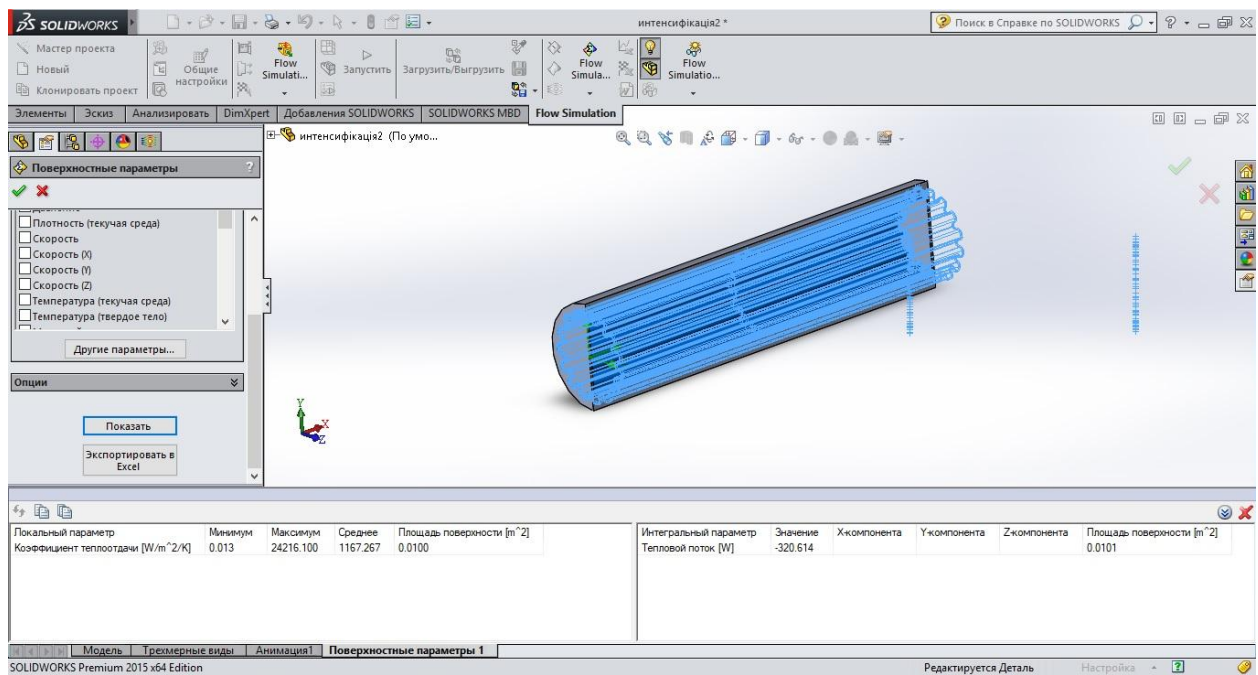


Рисунок 2.25 – Результаты моделирования трубки с ребрами 2x2мм

На рисунках 2.26 – 2.31 показані розподіли температур, швидкостей та результати моделювання для трубки з внутрішнім оребренням шириною і висотою ребра 2x3мм.

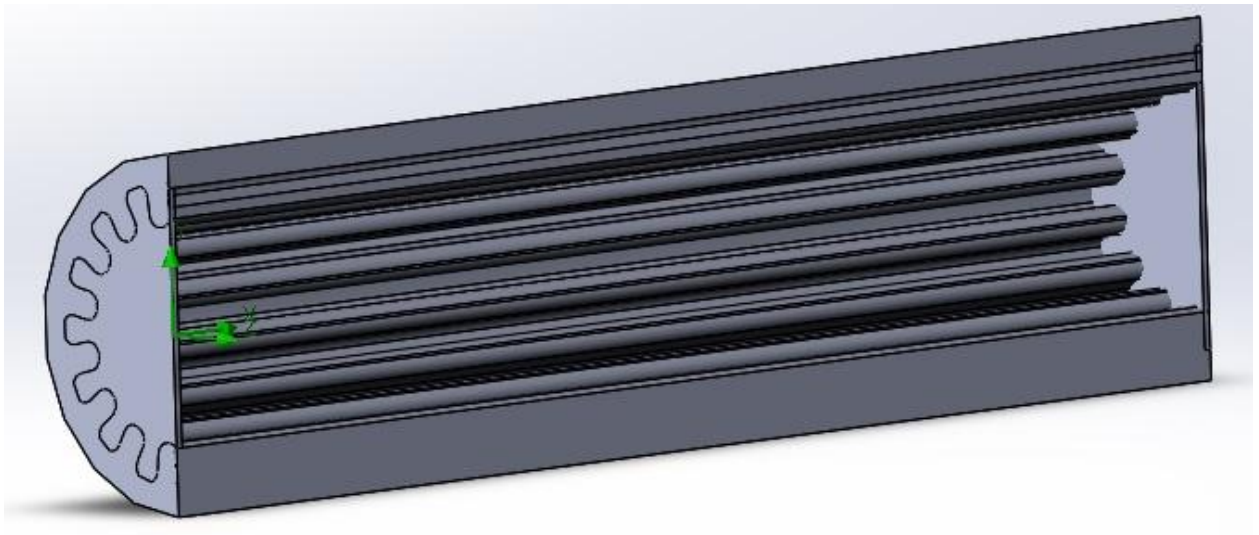


Рисунок 2.26 – Модель трубки с ребрами в трубці 2x3мм

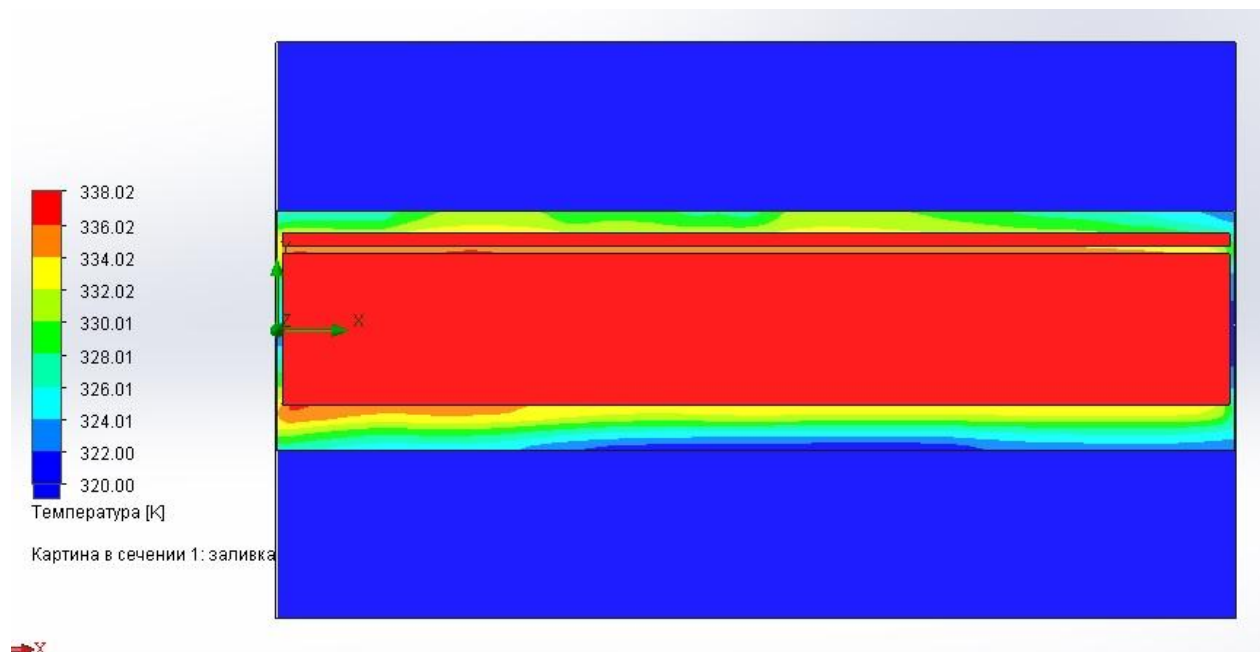
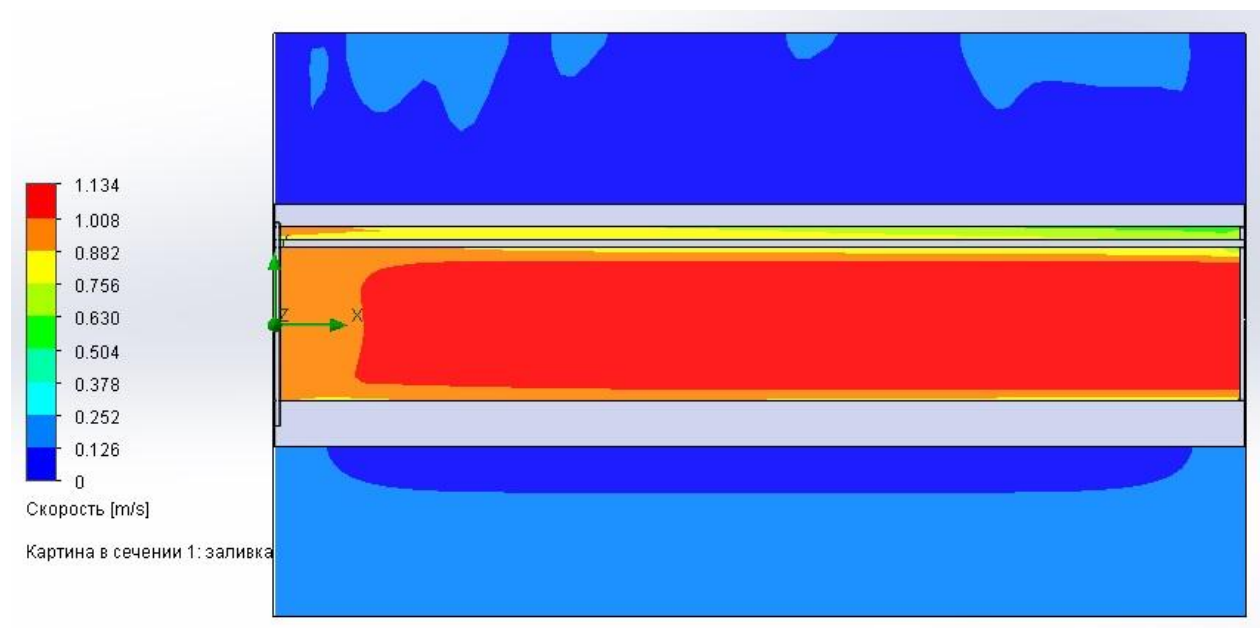
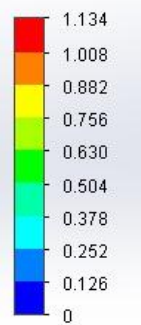


Рисунок 2.27 – Розподіл температур в трубці з ребрами 2х3мм



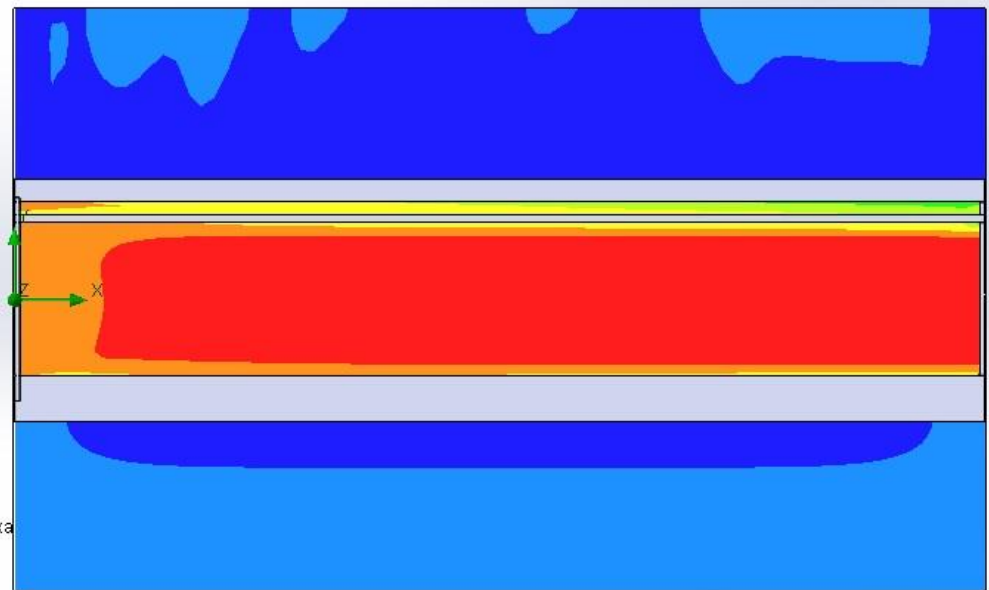
а





Скорость [m/s]

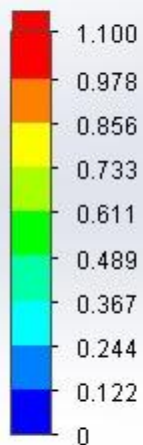
Картина в сечении 1: заливка



б

а - 0-0,25 м/с, б - 1-1,134 м/с.

Рисунок 2.28 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 2х3мм в межах швидкостей



Скорость [m/s]

Картина в сечении 1: заливка

Картина в сечении 2: заливка

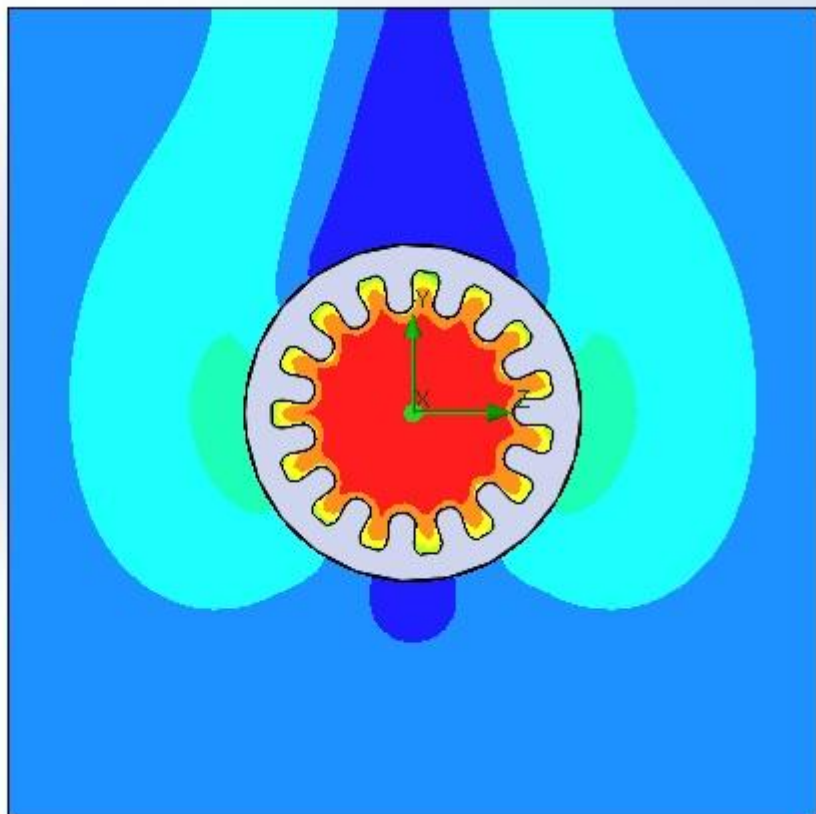


Рисунок 2.29 – Розподіл швидкостей в трубці з ребрами 2х3мм в поперечному розрізі.

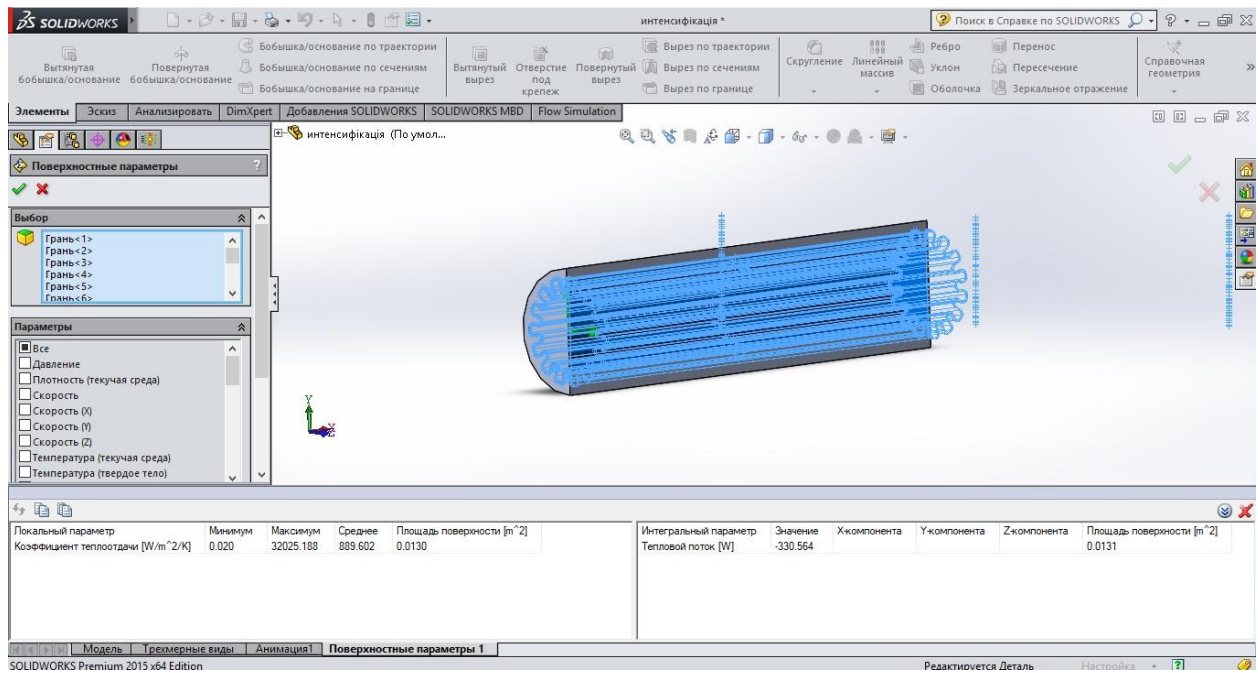


Рисунок 2.30 – Результати моделювання трубки з ребрами 2х3мм

Результати поверхневих параметрів зведено до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Поверхневі параметри труб з різними параметрами ребер

Параметр	Види оребрення					
	гладка трубка	ребра 1х1мм	ребра 1х2мм	ребра 1х3мм	ребра 2х2мм	ребра 2х3мм
$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	182	13	66	48	11	89
$F$ , м <sup>2</sup>	0,0065	0,0111	0,0176	0,0241	0,01	0,013
$K_{op}$	1	1,7	2,7	3,7	1,5	2,0
$Q$ , Вт	255	39	34	35	32	33
$K_{ef}$	1	1,5	1,3	1,3	1,2	1,3

де  $K_{ef} = Q_i/Q_{гл}$  – ефективний коефіцієнт оребрення;

$K_{op} = K_i/K_{гл}$  – коефіцієнт оребрення.

Як видно з таблиці 2.2, найефективнішим оребренням при заданих параметрах виявились ребра з шириною 1мм та висотою 1мм, порівнюючи по ефективному коефіцієнту оребрення.

## 2.5 Моделювання ребренної трубки з різних матеріалів

Було вирішено перевірити як впливає матеріал трубки на інтенсивність теплообміну.

Моделювання було вирішено провести на трубках з оптимальним для заданих параметрів ребренням 1x1мм. На рисунках 2.31 – 2.33 показані результати моделювання для нержавіючої сталі, міді та алюмінію відповідно. Граничні умови такі ж як і у попередньому досліді.

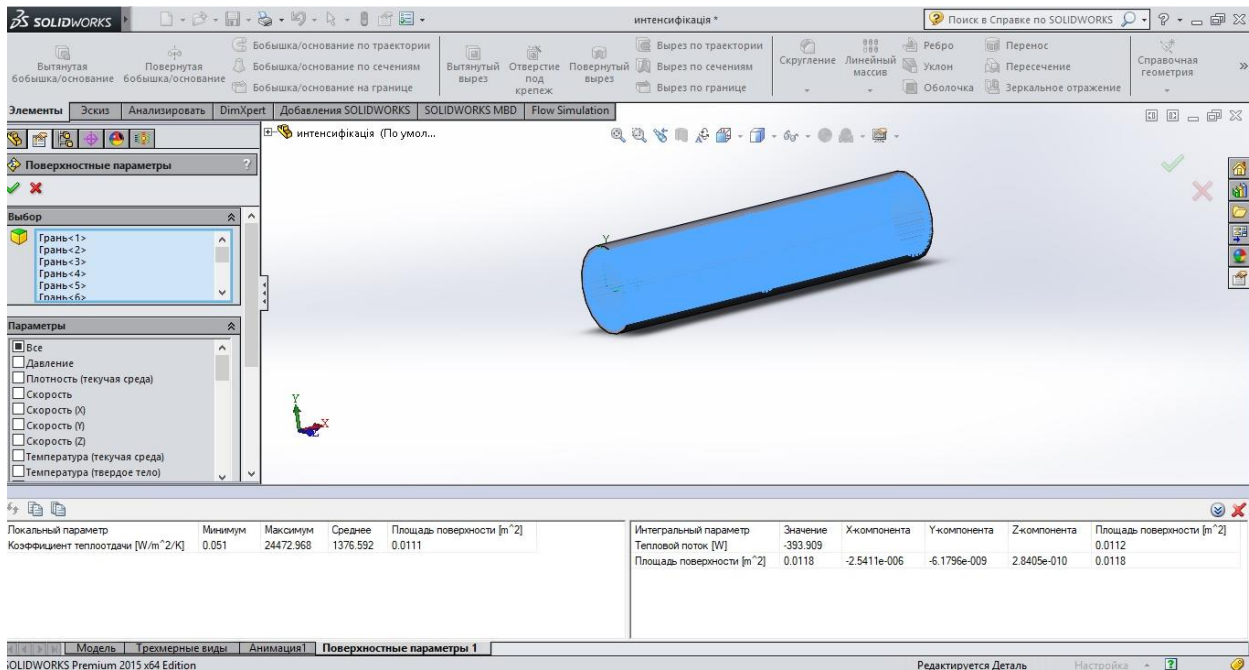


Рисунок 2.31 – Результаты моделирования для нержавеющей стали.

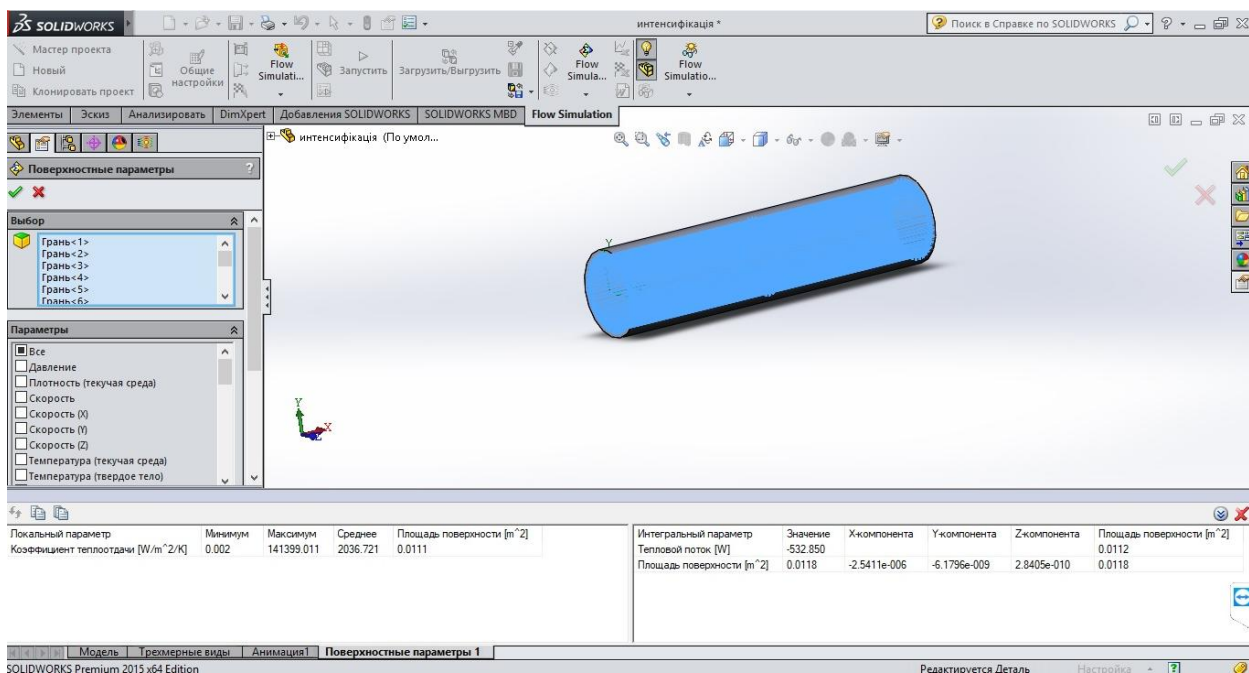


Рисунок 2.32 – Результаты моделирования міді.

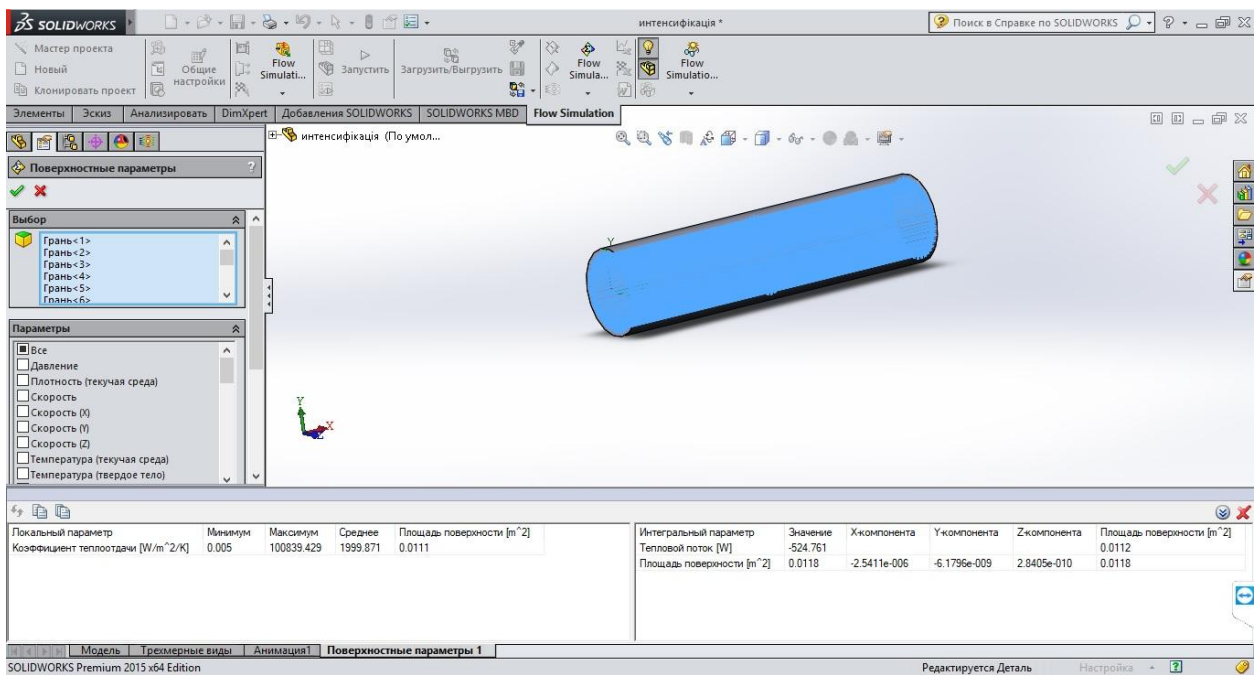


Рисунок 2.33 – Результати моделювання алюмінію.

Результати моделювання теплообміну для різних металів зведемо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Поверхневі параметри внутрішньої поверхні  
різного матеріалу при сталих параметрах.

труб

Види металу	нержавіюча сталь	алюміній	мідь
$\alpha$ , Вт/м²·К	1377	2000	2036
F, м²	0,0111	0,0111	0,0111
K <sub>оп</sub>	1,70769231	1,70769	1,70769
Q, Вт	394	525	533
$\lambda$ , Вт/м·К	16,3	237	401

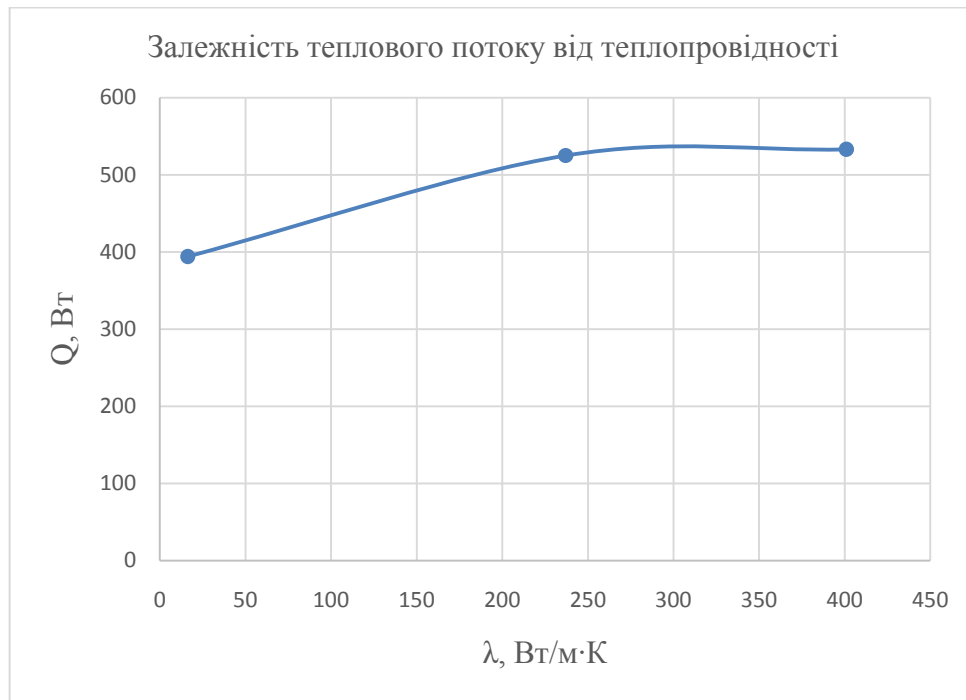


Рисунок 2.34 – Графік залежності теплового потоку від теплопровідності

Як видно з таблиці 2.3 та рисунку 2.34, найефективнішим матеріалом при сталих параметрах виявилась мідь, але так як мідь майже в 4 рази дорожче ніж алюміній, а алюміній в 1,5 рази дорожче ніж нержавіюча сталь, то найоптимальнішим варіантом є використання алюмінію.

## 2.6 Моделювання оребреної трубки з різними швидкостями руху теплоносія

Було вирішено перевірити як впливає швидкість руху теплоносія в трубці на інтенсивність теплообміну. Граничні умови такі ж як і у попередньому досліді.

Моделювання було вирішено провести на трубках з оптимальним для заданих параметрів оребренням 1x1мм. На рисунках 2.35 – 2.38 показані результати моделювання для 0,5 м/с, 1 м/с, 1,5 м/с, 2 м/с відповідно.

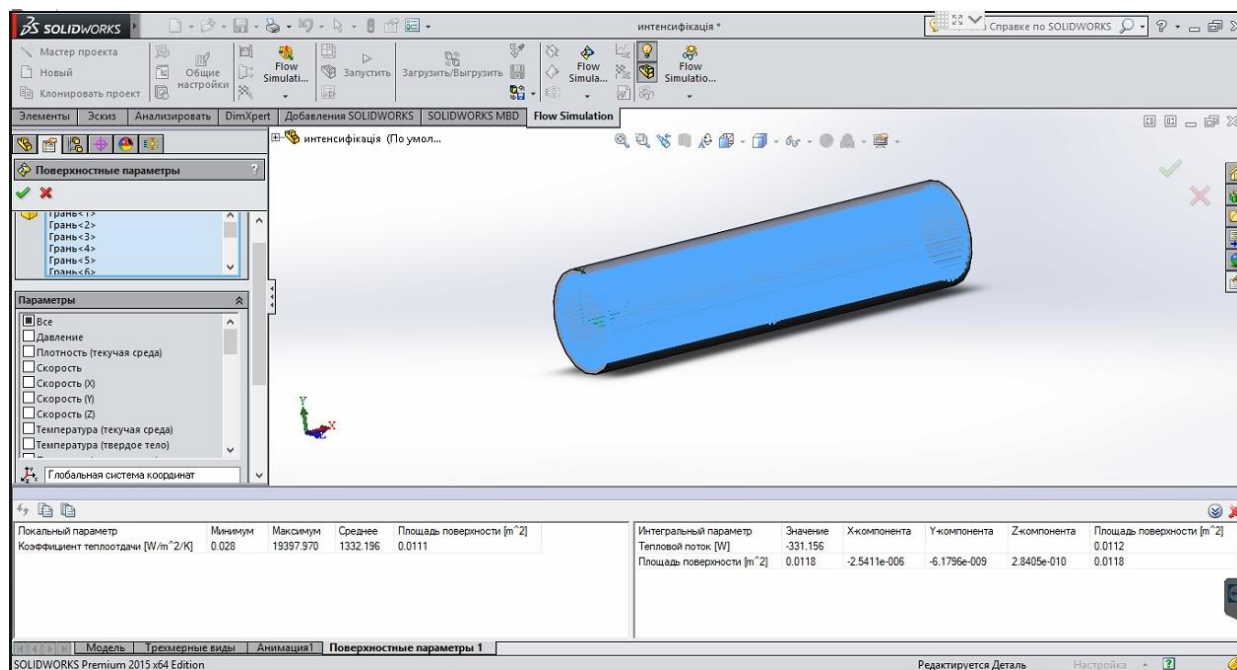


Рисунок 2.35 – Результаты моделирования при швидкості 0,5 м/с.

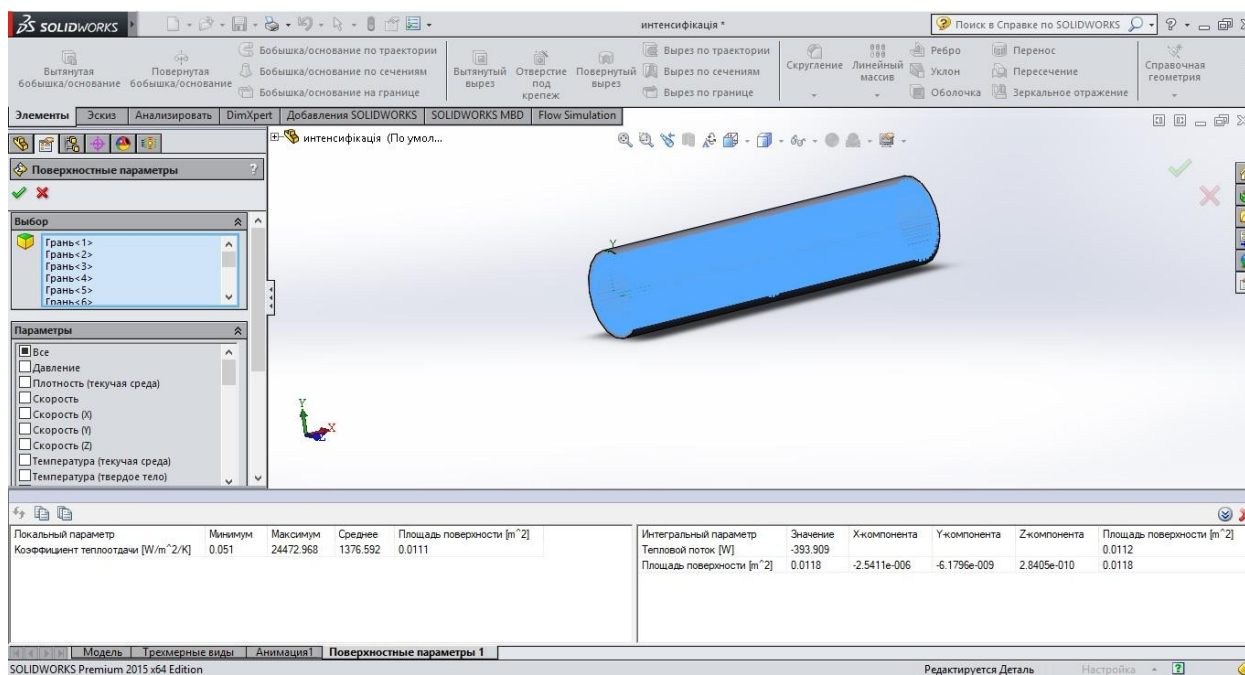


Рисунок 2.36 – Результаты моделирования при швидкості 1 м/с.



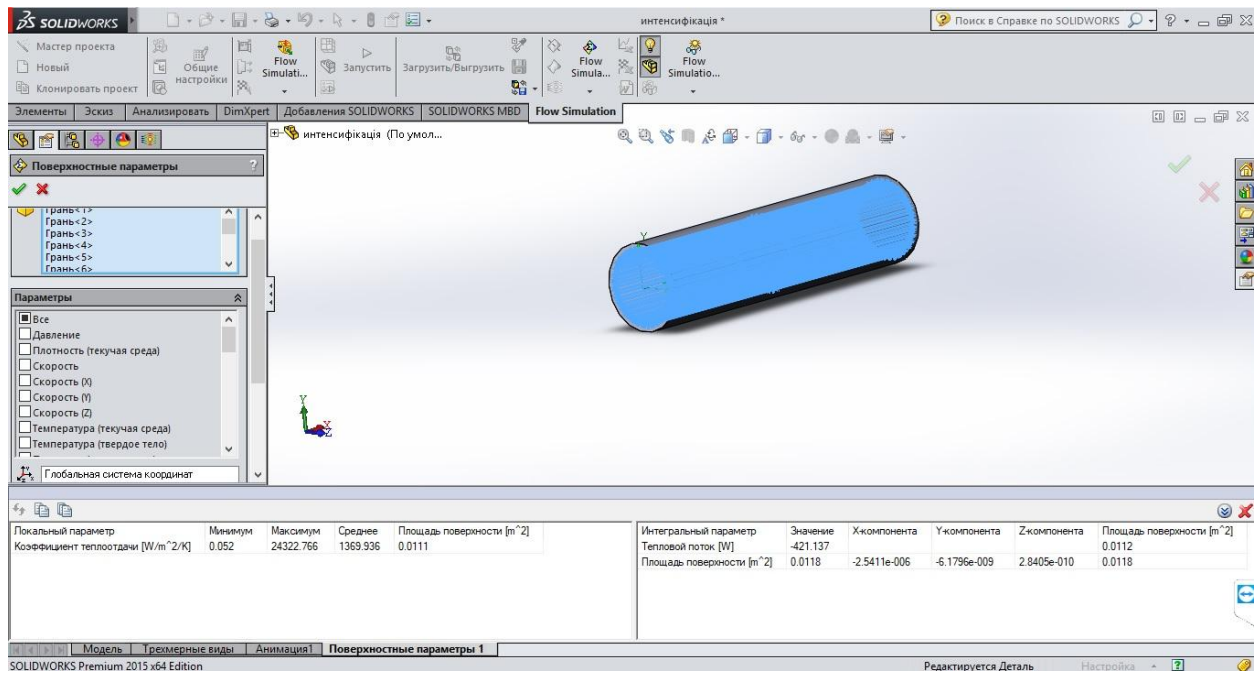


Рисунок 2.37 – Результаты моделирования при швидкості 1,5 м/с.

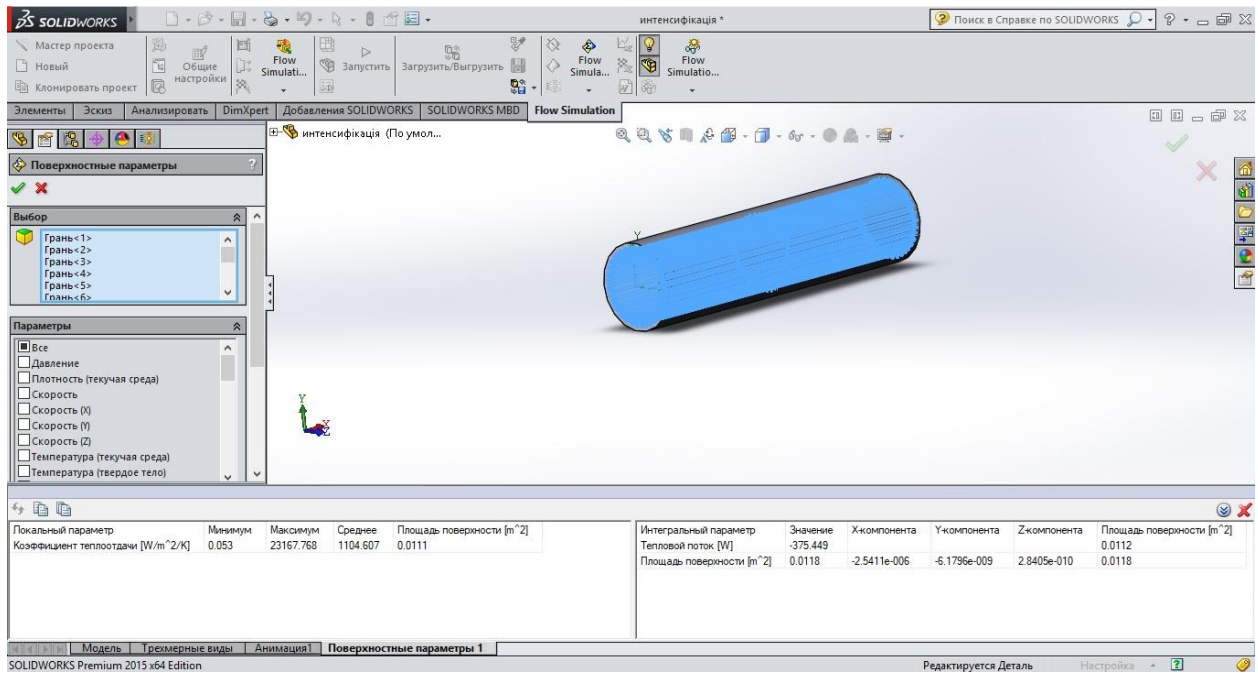


Рисунок 2.38 – Результаты моделирования при швидкості 2 м/с.

Результаты моделирования зведемо до таблиці:

Таблиця 2.4 – Результати моделювання при різних швидкостях потоку

Швидкість потоку, м/с	0,5	1	1,5	2
$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К	1332	1377	1370	1104
F, м <sup>2</sup>	0,0111	0,0111	0,0111	0,0111
K <sub>ор</sub>	1,70769231	1,70769	1,70769	1,70769
Q, Вт	331	394	421	376

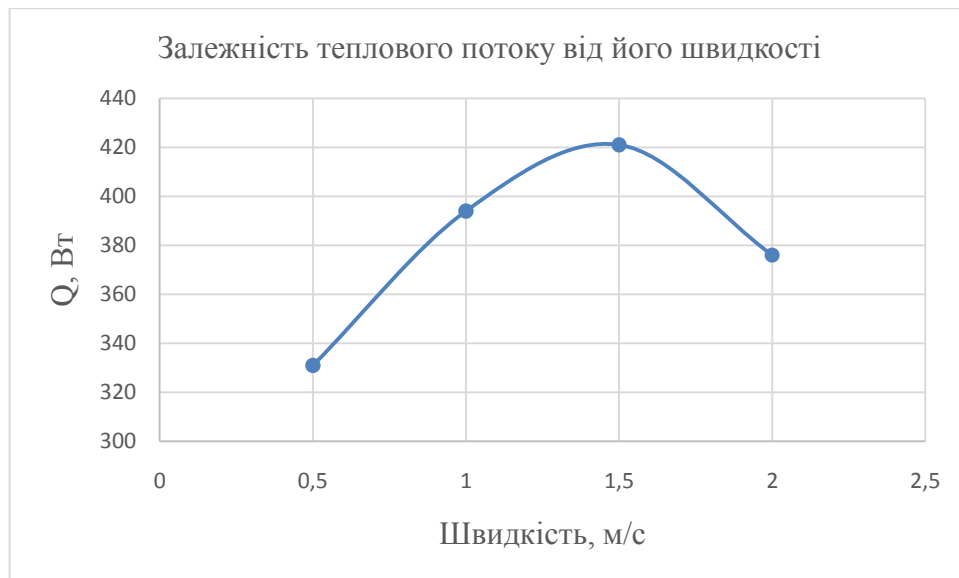


Рисунок 2.39 – Графік залежності теплового потоку від його швидкості

Як видно з рисунку 2.39, 1,5 м/с – оптимальна швидкість, при якій можна отримати максимальний тепловий потік.



## 2.7 Висновки до розділу 2

Розроблена 3D модель трубки апарата повітряного охолодження в програмному забезпеченні SolidWorks.

Аналізуючи результати фізичного моделювання, проведеного за допомогою модуля FlowSimulation, робимо висновок, що отриманий розподіл температур, розподіл швидкостей та поверхневих параметрів внутрішньої поверхні трубки з фізичної точки зору, відповідає очікуваним результатам.

Найкращим видом оребрення виявились ребра з висотою і шириною ребра 1мм, найефективніший матеріал – мідь, але за рахунок її великої вартості, кращим являється алюміній, оптимальна швидкість в трубі -1,5м/с.

Похибка результатів моделювання знаходиться в межах 15%, що є допустимим для розрахунків теплових процесів (максимальна похибка складає 9,56 %)

Відмінність у результатах зумовлена, перш за все тим, що розрахунок проводився з недостатньо високою точністю.

Враховуючи порівняння результатів математичного моделювання з натурним експериментом можемо зробити висновок, що модель адекватно відображає реальний фізичний процес та може бути використана для проведення розрахунків для різних наборів вхідних параметрів.

Перевагою моделювання в SolidWorks перед натурним експериментом є наочне представлення фізичного процесу. При цьому Flow Simulation дозволяє визначати широкий спектр фізичних величин, отримати графічні представлення результатів в залежності від поставленої задачі.

### 3 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Так як для зовнішньої задачі неможливо змодельовати два різних види теплоносія не розбиваючи її на дві окремі задачі, що сильно ускладнило б моделювання, а також для збільшення тепловіддачі ззовні труби (так як моделювання проводилось без зовнішнього оребрення) для спрощення моделювання було прийнято рішення моделювати теплообмін між теплоносіями вода – вода.

На зовнішній стороні гладкої труби прийнята швидкість поперечного омивання водою  $w=0,2\text{м/с}$ , при якій коефіцієнт тепловіддачі буде близьким до коефіцієнта тепловіддачі віднесеного до базової поверхні труби з зовнішнім оребренням ( $K_{op}=20$ ) при омиванні її повітрям  $\alpha_{op.з} = 1800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

Обрахуємо наскільки можна зменшити поверхню теплообміну, а саме довжини трубок за рахунок вибраного оптимального оребрення всередині трубки з параметрами ребра 1х1мм, яке згідно таблиці 2.2, є оптимальним.

Тепловий потік для оребреної трубки розраховується за формулою:

$$Q_{op} = K_{op} \cdot F_{op} \cdot \Delta t, \quad (3.1)$$

де  $F_{op}$  – повна поверхня оребреної труби;

$\Delta t$  – середня різниця температури між потоками;

$K_{op}$  – коефіцієнт теплопередачі;

Тепловий потік, який потрібний для охолодження гладкої трубки на оребренній трубці розраховується за формулою:

$$Q'_{op} = K_{op} \cdot F'_{op} \cdot \Delta t, \quad (3.2)$$

де  $F'_{op}$  - необхідна поверхня оребреної труби, яка забезпечить передачу такої кількості теплоти, як у апараті з гладкими з внутрішньої сторони трубами.

При невеликій довжині труби, а саме 10см, зміна температури по довжині потоку майже відсутня. Отже відношення загальної різниці температур для гладкої і оребреної трубки буде дорівнювати 1. Коефіцієнт теплопередачі  $K_{op}$  в обох випадках вважаємо однаковим. З врахуванням цього співвідношення площ теплообміну обраховується за формулою:

$$\frac{F'_{op}}{F_{op}} = \frac{Q'_{op}}{Q_{op}}; \quad (3.3)$$

Так як  $Q'_{op}$  таке ж як і  $Q_{2л}$  тоді співвідношення площ теплообміну дорівнює з формули (3.3)

$$\frac{F'_{op}}{F_{op}} = \frac{255}{394} = 0,65;$$

Отже можна зробити висновок, що необхідна площа трубок при гладкій поверхні можна зменшити на 35% замінивши її оребренною трубкою. Тобто замість 3-ох метрової трубки, яка використовується в апаратах повітряного охолодження, можна використати оребренну трубку довжиною приблизно 2 метри.

## **4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ**

Стартап, як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва, впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає [18].

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів [14].

Для запуску будь-якого стартапу необхідно зібрати гіпотези бізнес-моделі. Найбільш популярним і актуальним інструментом бізнес-моделювання на сьогоднішній день є шаблон бізнес моделі розроблений Олександром Остервальдером та Івом Піньє. Даний шаблон був представлений в роботі «Построение бизнес-моделей. Настольная книга стратега и новатора» [15] і на даний момент використовується компаніями різного рівня, від стартапів до транснаціональних корпорацій.

Шаблон (або як його іноді називають: канва, макет) – це універсальна мова опису, представлення, аналізу і перетворення бізнес-моделей. Для того, щоб просто і наглядно описати і представити діяльність організації в даному розділі будемо використовувати шаблон бізнес-моделі Олександра Остервальдера та Іва Піньє.

### **4.1 Опис блоків бізнес-моделі**

Бізнес-модель Олександра Остервальдера та Іва Піньє складається з дев'яти структурних блоків (рисунок 4.1) [19]

- 1) Споживацькі сегменти
- 2) Ціннісна пропозиція

- 3) Канали збуту
- 4) Взаємовідносини з клієнтами
- 5) Потоки надходження доходів
- 6) Ключові ресурси
- 7) Ключові види діяльності
- 8) Ключові партнери
- 9) Структура витрат

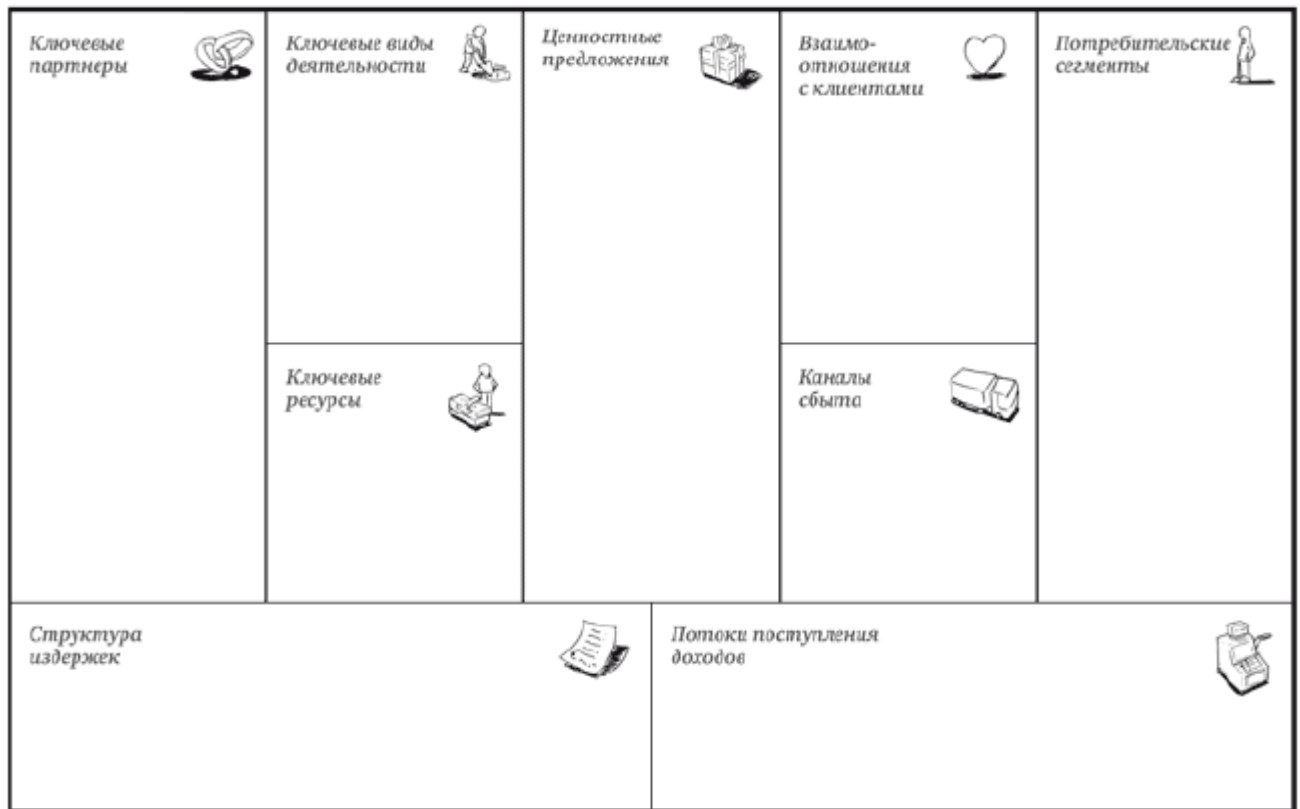


Рисунок 4.1 – Шаблон бізнес-моделі

Основною ідеєю стартапу є надання послуг технічного розрахунку та надання консультацій з підвищення рівня енергетичної ефективності теповіддачі з внутрішньої сторони трубки в апаратах повітряного охолодження.

Базовим споживацьким сегментом є нішевий ринок кожухотрубних теплообмінників, а саме ринок виробництва апаратів повітряного охолодження.

Нижче перерахуємо елементи, які складають цінність товару для кінцевого споживача:

- 1) Підвищена ефективність

За рахунок зміни конструкції, а саме відпрацьована технологія виготовлення труб з внутрішнім повздовжнім оребренням з коефіцієнтом оребрення до 3, дає можливість інтенсифікувати тепловіддачу всередині оребреної труби в 2-3 рази при збереженні гідравлічного опору на рівні гладкої труби (при однакових швидкостях);

## 2) Економічність

В зв'язку з тим, що технологія виготовлення оребрених труб практично не відрізняється від технології виготовлення гладких труб і може бути реалізована на стандартному трубопрокатному обладнанні лише з заміною гладкої внутрішньої оправки на ребристу, то вартість таких труб в порівнянні з гладкими трубами зростає на 10-15% (в основному за рахунок збільшення металоємкості труби) при порівнянні труб з одною базовою товщиною.

## 3) Зменшення витрат

Розроблена конструкція оребреної трубки дає змогу укоротити теплообмінну поверхню(довжину труб) для передачі однієї і тієї ж теплоти на 35%.

## 4) Зручність застосування

За рахунок зменшення довжини труб, стає зручнішою для транспортування, встановлення.

Блок каналів збуту описує, як компанія взаємодія зі споживацькими сегментами і доносить до них свої ціннісні пропозиції.

Канали збуту, розповсюдження і продаж складають систему взаємодії компанії зі споживачами. Ці канали – це точки контакту споживача з продавцем – виконують ряд функцій, а саме:

- Підвищують рівень освідомлення споживача;
- Допомагають оцінити ціннісну пропозицію;
- Дозволяють споживачу купувати товари або послуги;
- Знайомлять споживача з ціннісною пропозицією;
- Забезпечують після продажне обслуговування.

Основним каналом збуту будуть продажі через торгових агентів, однак вони не єдині. Ще одним варіантом є партнерські канали – непрямі канали збуту, які представлені через партнерські сайти. Партнерський канал приносить менший прибуток, але допоможе досягти більшого охопту ринку і дає переваги за рахунок сильних сторін партнера у порівнянні з прямими каналами збуту, організація і управління яких обходиться дорожче.

Взаємовідносини з клієнтами будуть проходити в рамках персональної підтримки. Даний тип побудований на особистих контактах і клієнт може спілкуватися напряму з представником компанії, отримуючи від нього допомогу в процесі купівлі і після неї.

Блок потоків надходження доходів включає матеріальний прибуток, який компанія отримує від кожного споживацького сегменту.

В бізнес-моделі можуть здійснюватися два типи потоків доходів:

- 1) дохід від разових угод;
- 2) регулярний дохід від періодичних платежів, отримуваних від клієнта за ціннісну пропозицію або після продажне обслуговування.

Основним потоком доходів виділимо дохід від разових угод при цьому механізм ціноутворення будуємо на основі партнерського договору.

Блок ключових ресурсів описує найбільш важливі активи необхідні для функціонування бізнес-моделі.

Оскільки ідея стартапу полягає у виконанні науково-дослідної роботи з підвищення ефективності роботи апаратів повітряного охолодження, то основним ресурсом є інтелектуальний. Для успішного розвитку необхідно отримати патенти та авторські права на розробку. Інтелектуальний ресурс необхідний для реалізації, але він не є достатнім. Для початку потрібна фінансова складова, яку можна отримати за рахунок укладання договору попередньої оплати за виконану роботу.

Блок ключових партнерів описує мережу постачальників і партнерів, завдяки яким функціонує бізнес-модель. Можна виділити чотири типи партнерських відносин:

- 1) стратегічне співробітництво між неконкуруючими компаніями;
- 2) стратегічне партнерство між конкурентами;
- 3) сумісні підприємства для запуску нових бізнес-проектів;
- 4) відносини виробника з постачальниками для гарантії отримання якісних комплектуючих.

Виділимо один з найважливіших мотивів створення партнерських відносин у нашому випадку – це оптимізація і економія в сфері виробництва. Немає сенсу володіти всіма ресурсами або здійснювати всі види діяльності пов'язаних з випуском кінцевої продукції. Наша компанія пропонує послуги по зменшенню витрат для заводу-виробника алюмінієвих виробів з брухту.

Блок структури витрат описує найбільш суттєві витрати необхідні для роботи в рамках конкретної бізнес-моделі. Це витрати пов'язані з функціонуванням бізнес-моделі. Створення і здійснення ціннісних пропозицій, підтримання взаємовідносин з клієнтами, отримання прибутку – всі ці процеси пов'язані з будь-якими витратами.

За структурою витрати можна розділити на наступні категорії:

- фіксовані – заробітна плата співробітників, засоби виробництва, оренда приміщення;
- змінні – послуги транспортування на об'єкти замовника в залежності від кількості замовлень, політичні ризики.

## **4.2 Висновки до розділу 4**

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок представлено з використанням шаблону бізнес-моделі Олександра Остервальдера та Іва Піньє.

Базуючись на вище викладених матеріалах можна сказати, що майбутня комерціалізація проекту залежить від попиту, динаміки ринку і рентабельності роботи на ринку. На даний момент попит є низьким, однак динаміка ринку зростає через підвищені енергетичні та екологічні вимоги до виробництва алюмінію, в тому числі апаратів повітряного охолодження.

Перспективи впровадження послуги технічного розрахунку та надання консультації з огляду на обмежену кількість потенційних груп клієнтів (заводів-виробників алюмінію) є не високими. При цьому бар'єри входження конкурентів в нішевий ринок є низькими. Враховуючи існуючі політичні ризики (один з найважливіших) конкурентоспроможність проекту буде програвати у боротьбі з аналогічними надавачами послуг за кордоном.

Альтернативним варіантом впровадження послуги є орієнтація на український ринок виробництва алюмінію з суттєвим розширенням асортименту надання послуг.

Подальша імплементація проекту можлива за умов високого попиту на послуги, що представляє компанія.



## **5 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ І ЗАПОБІГАЮЧІ ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ**

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

В питання, що розглядаються охороною праці, входить: безпека праці, попередження травматизму і професійних захворювань, пожеж і вибухів на виробництві, питання правової охорони праці.

Вірогідність нещасних випадків на виробництві в Україні на цьому етапі набагато перевищує ті ж показники в розвинених зарубіжних країнах. У наслідок отримання травми людиною на виробництві знижується продуктивність праці, з'являються додаткові витрати на виплату компенсацій хворим або інвалідам, виникають соціально-економічні і психологічні проблеми як в колективі, так і у окремо взятих людей, пов'язаних з нещасним випадком на виробництві. При чіткому виконанні усіх правил і вимог охорони праці людина може захистити себе від різних виробничих травм, поразок електричним струмом, професійних захворювань.

Основними завданнями охорони праці є: створення безпечних умов праці робочого персоналу, попередження професійних захворювань, виконання контролю за виконанням техніки безпеки на виробництві.

Правильна організація роботи з охорони праці має першорядне значення для підвищення продуктивності праці, ліквідації причин нещасних випадків, попередження травматизму, загальних і професійних захворювань на виробництві.

Питання охорони праці враховуються при організації усіх виробничих процесів. Правова основа охорони праці базується на Конституції України, Законі України “Про охорону праці”. Найважливішим принципом державної політики в галузі охорони праці є пріоритет життя та здоров'я людини відносно трудової діяльності.

Оскільки темою магістерської дисертації є «Інтенсифікація конвективного теплообміну в трубному пучку апаратів повітряного охолодження» і в свою чергу потребує застосування засобів обчислювальної техніки в процесі моделювання тепловіддачі в трубках апаратів повітряного охолодження.

В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації засобів обчислювальної техніки, а також технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи. Крім того, в даному розділі визначені основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

### **5.1. Технічні та організаційні рішення щодо робочих місць в приміщенні науково-дослідної лабораторії**

5.1.1 Особливості організації робочих місць в приміщенні науково-дослідної лабораторії та вимоги щодо безпечної експлуатації візуальних дисплейних терміналів персональних електрообчислювальних машин (ВДТ ПЕОМ) [20].

Процеси графічного моделювання проводяться за допомогою персонального комп'ютера (ПК). При роботі на ПК людина піддається впливу іонізуючого, інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювань екрана монітора, рівні яких повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Вимоги до організації робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ в приміщенні науково- дослідної лабораторії:

а) ергономіка робочого місця, його розміри й взаємне розташування робочих місць повинні відповідати ергономічним вимогам і забезпечувати безпеку (ДСТУ ISO 9241:6-2004);

б) при проектуванні робочих місць варто передбачити виконання робіт сидячи або стоячи, при чергуванні сидячи й стоячи;

в) конструкція крісел повинна відповідати ергономічним вимогам. Оптимальне положення тіла працюючого забезпечується відповідною конструкцією робочого місця, а також регулюванням висоти робочої поверхні сидіння, простори й підставки для ніг.

Для того щоб забезпечити точне та швидке зчитування інформації в зоні найкращого бачення, площина екрана монітора виставлена перпендикулярно нормальній лінії зору. При цьому передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі в межах  $\pm 30^\circ$  (справа наліво) та нахилу вперед до  $85^\circ$  і назад до  $105^\circ$  з фіксацією в цьому положенні. Клавіатура розміщена на поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю. Кут нахилу

клавіатури до столу обрано в межах від 5 до 15° так, що зап'ястя на долонях рук розташовуються горизонтально до площини столу. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Робочі місця з ПК розташовано відносно від стіни з вікнами на відстані не менше 1,5м, від інших стін — на відстані 1 м, відстань між собою - не менше ніж 1,5 м. Причому так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК передбачені сонцезахисні жалюзі.

#### 5.1.2 Вимоги з ергономіки до організації робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

Робоче місце - це частина простору, в якому інженер здійснює трудову діяльність, і проводить велику частину робочого часу. Розглянемо питання та заходи з ергономіки.

Згідно ГОСТ 12.2.032-78 та (ДСТУ ISO 9241:6-2004) конструкція робочого місця і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам.

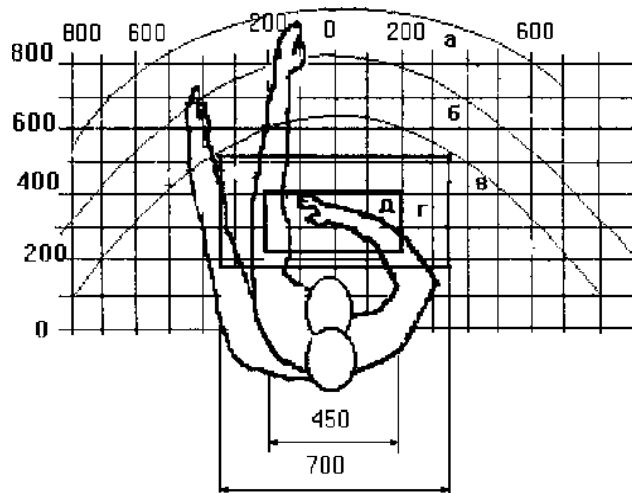
Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця дослідника повинні бути дотримані наступні основні умови, крім попередньо згаданих:

- оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;

Головними елементами робочого місця дослідника є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи організоване відповідно до ГОСТ 12.2.032-78 (Рисунок 5.1).

Розглянемо оптимальне розміщення предметів праці і документації в зонах досяжності рук:

- дисплей розміщується в зоні а (у центрі);
- клавіатура - у зоні г / д;
- системний блок розміщується в зоні б (зліва);
- принтер знаходиться в зоні а (праворуч);
- документація: в зоні легкої досяжності долоні - в (ліворуч) - література і документація, необхідна при роботі;
- у висувних ящиках столу - література, якою використовується не постійно.



а - зона максимальної досяжності; б - зона досяжності пальців при витягнутій руці;  
в - зона легкої досяжності долоні; г - оптимальний простір для грубої ручної роботи; д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи

Рисунок 5.1 – Зони досяжності рук в горизонтальній площині

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричним характеристиками. При використанні цих даних у розрахунках варто виходити з максимальних антропометричних характеристик (Рисунок 5.2).

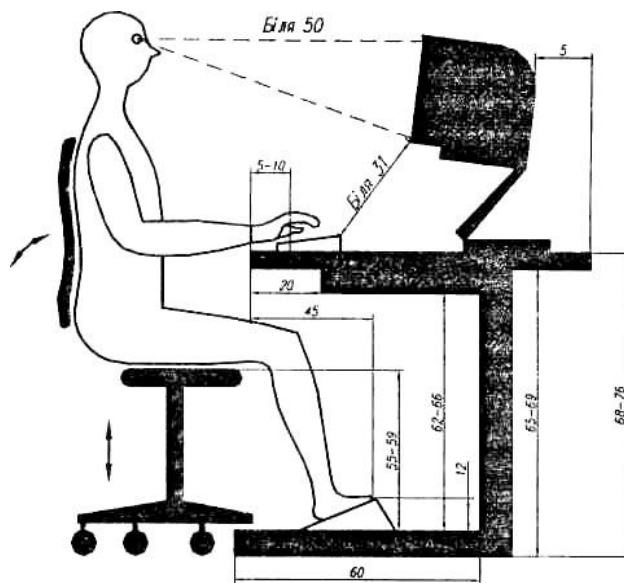


Рисунок 5.2 Оптимальні метричні параметри робочого місця (мм)

### 5.1.3 Електробезпека

Напруга в електромережі приміщення становить 220В, струм змінний. Мережа трифазна, чотири провідна, із заземленою нейтраллю. Розетки заземлені, які відповідають нормам ПУЕТ та НПАОП 0.00-1.28-10. Електропроводка прокладена в закритих ізолюючих жолобах під підлогою. Споживачами електроенергії є ЕОМ, дисплеї, принтери, освітлювальні прилади.

Характеристика використовуваного устаткування по споживанню електроенергії:

- Монітори Samsung C23A750X та Samsung SyncMaster 970P напруги 100-240 В, сили струму 1.2 А, частоти 85 Гц та 90Гц відповідно;
- Системний блок моделі IBM PC Pentium 4 напругою 220 В, частотою 50 Гц, силою струму 1 А;
- Корпус моніторів оформлений пластмасою, що захищає користувача від можливої поразки струмом при дотику до корпусу. Те ж стосується принтерів та системних блоків. Для уникнення перегріву системного блоку та монітору вентиляційні отвори завжди не загороджені сторонніми предметами.

За способом захисту людини від ураження електричним струмом згідно ГОСТ 12.2.007.0- 75 блоки ПЕОМ та периферійні пристрої відносяться до I та II класів з електрозахисту.

Робоче приміщення відноситься до сухих, так як відносна вологість у приміщеннях не перевищує 60%.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом дане приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тому що в ньому відсутні умови, які створюють підвищену або особливу небезпеку:

- вологість;
- струмопровідний пил;
- хімічноактивне середовище;
- струмопровідна підлога;
- підвищена температура;
- можливість одночасного дотику до заземлених металоконструкцій будівлі з одного боку, та до металевих частин електрообладнання, з іншого боку.

ЕОМ, дисплеї, освітлювальні прилади, електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту відповідають класу зони за ПВЕ, мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Робочі стенди виготовлені із спеціального матеріалу, що робить поразку електричним струмом людини, при дотику до них практично неможливим. Тобто, спеціальних заходів для електробезпеки застосовувати не потрібно.

В приміщенні розташовується 2 персональних ЕОМ, тому для прокладення трипровідникового захищеного проводу використано гнучкі металеві рукава та на помітному, доступному місці встановлено аварійний резервний вимикач. Таким способом реалізована електромережа штепсельних розеток для живлення персональних ЕОМ, периферійних пристроїв, електрочайника тощо. Самі розетки монтуються на негорючих пластинах з урахуванням вимог «Правил використання електроустановок» (ПВЕ) та Правил пожежної безпеки в Україні та виконані за магістральною схемою.

Заземлення відповідає вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”.

Для протирання підлоги застосовують рідини, пара яких не утворює вибухопожежонебезпечних сумішей з повітрям та не викликає корозії контактів електричних з'єднань.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом для даного приміщення є забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, від випадкового дотику, організація безпечної експлуатації електронагрівальних приладів а також занулення устаткування з використанням автоматів струмового захисту. При наявності занулення замикання фази на корпус перетворюється в одноразове коротке замикання струму, від якого спрацьовує пристрій максимального струмового захисту і вимикає пошкоджений електроприлад. Так як в приміщеннях зберігаються горючі матеріали, то електрична проводка в приміщенні прихована під шаром штукатурки 2,5 см.

#### 5.1.4 Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність

Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність включає знаходження величини струму короткого замикання (КЗ) і розрахунок номінального струму спрацювання пристрою максимального струмового захисту.

Вихідні дані для розрахунку:

- $U_{\phi}=220$  В – фазна напруга;
- Кабель трьохжильний з площею перерізу однієї жили  $S_{\phi} = 1,5 \text{ мм}^2$ , матеріал – алюміній ( $\rho = 0,031 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ );

- $L=200$  м – відстань від трансформатора до споживача.

1) Активний опір фазного та нульового проводів відповідно, Ом

$$r_{\text{н}} = r_{\phi} = \frac{\rho \cdot L}{S_{\phi}}. \quad (5.1)$$

$$r_{\text{н}} = r_{\phi} = \frac{0,031 \cdot 200}{1,5} = 4,13 \text{ Ом}.$$

2) Струм однофазного КЗ можна обчислити за формулою:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\phi}}{r_{\phi} + r_{\text{н}} + r_{\text{у}}}, \quad (5.2)$$

де  $r_{\text{у}} = 0,3 \text{ Ом}$  - розрахований опір трансформатора потужністю 250 Вт.

Тоді за формулою (5.2)

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{220}{4,13 + 4,13 + 0,3} = 25,7 \text{ А}.$$

3) Номінальний струм спрацювання автомату струмового захисту розраховується за формулою

$$I_{\text{ном}} \leq I_{\text{КЗ}} / K, \quad (5.3)$$

де  $K$  – необхідна кратність струму КЗ до струму спрацювання автомату струмового захисту.

Тоді за формулою (5.3)

$$I_{\text{ном}} = \frac{25,7}{1,4} = 18,36 \text{ А}.$$

З розрахунків видно, що при однофазному КЗ номінальний струм спрацювання автомату захисту повинен бути менше 18 А (автомати, що використовуються у роботі повинні мати  $I_{\text{ном}} = 15 \text{ А}$ ).

4) При однофазному КЗ нульовий провід і з'єднаний з ним корпус електроустановки за час спрацювання максимального струмового захисту знаходяться під напругою  $U_{\text{дот}}$  відносно землі

$$U_{\text{дот}} = I_{\text{КЗ}} \cdot r_{\text{н}} \quad (5.4)$$

Тоді за формулою (5.4)

$$U_{\text{дот}} = 25,7 \cdot 4,13 = 106,1 \text{ В.}$$

Розрахована напруга  $U_{\text{дот}} < U_{\text{дот.доп}}$  у відповідності з ГОСТ 12.1.038-88 при  $t < 0,2 \text{ с}$  ( $U_{\text{дот.доп}} = 250 \text{ В}$ ).

## **5.2. Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії при виконанні науково-дослідної роботи**

До основних факторів, що визначають стан санітарно-гігієнічних умов праці в науково- дослідній лабораторії відносяться наступні фактори:

- мікроклімат;
- освітлення;
- шум;
- ергономіка,
- електромагнітне випромінювання,
- ультрафіолетове випромінювання.

Захист від шуму не розглядається, оскільки рівень шуму, що має місце при виконанні науково-дослідної роботи не здатний зашкодити здоров'ю людини. Виробничі вібрації відсутні, тому їх вплив також не розглядається.

### **5.2.1 Мікроклімат робочої зони**

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря й інтенсивністю теплового випромінювання на робочому місці, температурою поверхні.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальне й припустиме значення параметрів мікроклімату залежно від періоду року й категорії робіт (таблиця 5.1). У таблиці наведені оптимальні й припустимі значення параметрів мікроклімату для категорій тяжкості робіт «Іа» ( роботи, виконувані сидячи й не потребуючі фізичної напруги при витраті енергії не більше 120 ккал/година).

У приміщенні якості опалювального приладу використовується сталева 11-ти секційна батарея центрального опалення для підтримки нормальної температури повітря в холодну пору року.

Таблиця 5.1 – Оптимальні й допустимі параметри (для постійного робочого місця) мікроклімату в приміщенні.



Параметри	Холодний період		Теплий період	
	опти мальні	доп устимі	опти мальні	доп устимі
Температура °C	22-24	21- 25	23-25	22- 28
Відносна вологість, %	40-60	80	40-60	75
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1	0,1	0,1-0,2

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні запроектована припливно-витяжна вентиляція. Також використовується природна вентиляція. У приміщенні є вікно, яке можна відкривати, якщо буде потреба в теплий період. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

### 5.2.2. Природне освітлення

У приміщенні передбачена система одно бокового природного освітлення через застелений віконний проріз. При природному освітленні нормується не абсолютне значення освітленості, а коефіцієнт природного освітлення (КПО), який визначається за формулою

$$КПО = e_p = \frac{E_{вн}}{E_{зов}} \cdot 100, \quad (5.5)$$

де  $E_{зов}$  – зовнішня горизонтальна освітленість в похмуру погоду;

$E_{вн}$  – природна освітленість на клавіатурі.

Розрахункове значення КПО для м. Києва обчислюємо за формулою

$$e_p = e_n \cdot m, \quad (5.6)$$

де  $e_n=1,5\%$  – нормативне значення коефіцієнта природного освітлення згідно ДБН В.2.5-28-06;

$m=0,85$  – коефіцієнт світлового клімату.

Визначимо необхідну площу світлового прорізу, який забезпечує нормативне значення КПО в робочій зоні дослідника, за формулою

$$100 \cdot \frac{S_{вікн}}{S_{п}} = \frac{e_n^{IV} \cdot k_3 \cdot \eta_o}{\tau_o \cdot r_1} \cdot k_{зд}, \quad (5.7)$$

де  $S_{вікн}$  – площа світлових прорізів, м<sup>2</sup>;

$S_{п}$  – площа підлоги приміщення, м<sup>2</sup> ( $S_{п}=30$  м<sup>2</sup>);

$e_n^{IV}$  – нормоване значення КПО;

$\eta_{\text{про}}$  – світлова характеристика вікон;

$k_{\text{зд}}$  – коефіцієнт, що враховує затінення вікон іншими будинками ( $k_{\text{зд}}=1,2$ );

$k_3$  – коефіцієнт запасу ( $k_3=1,5$ );

$r_1$  – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при бічному освітленні через світло, відбитого від поверхонь приміщення й підстильного шару, що прилягає до будинку, ( $r_1=1,1$ );

$\tau_{\text{об}}$  – загальний коефіцієнт світло проникнення,

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (5.8)$$

де  $\tau_1$  – коефіцієнт світловипускнення матеріалу, ( $\tau_1=0.8$ );

$\tau_2$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконних прорізах, ( $\tau_2=0,75$ );

$\tau_3$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла в несучих конструкціях, ( $\tau_3=1$ );

$\tau_4$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях, ( $\tau_4=0,9$ );

$\tau_5$  – коефіцієнт, що враховує втрати світла в захисній сітці, установленій під ліхтарями,  $\tau_5=0,9$ ;

Тоді:

$$S_{\text{вікн}} = \frac{0,5 \cdot 1,5 \cdot 7}{0,8 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,1} \cdot 1,2 \cdot \frac{30}{100} = 2,9 \text{ м}^2.$$

Приймаємо, що  $S_{\text{вікн}}=3 \text{ м}^2$  (вікно розміром 1700×1800 мм).

### 5.2.3 Штучне освітлення

У вечірній час, та в похмуру погоду у приміщенні використовується система штучного освітлення.

Приміщення освітлюється за допомогою світлодіодних ламп змонтованих в алюмінієвому профілі. Освітленість визначатимемо за методом лінійних ізолюкс.

1) Розрахункова кількість ламп, необхідних для нормального освітлення приміщення

$$N_p = \frac{E_{\text{об}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta}, \quad (5.9)$$

де  $E_{\text{об}}=500 \text{ лк}$  - нормована мінімальна освітленість;

$N_p$  - кількість світильників у ряду;

$N$  - кількість світильників, передбачена ще до розрахунку  $N=6$ ;

$n$  - кількість ламп у світильнику;  $n=3$

$\Phi_{\text{л}}$  - світловий потік лампи, лм (або сумарний світовий потік ламп в багатолампових освітлювачах);

$K_3$  - коефіцієнт запасу, враховує зниження світлопропускання вікон і середовища у приміщенні,  $K_3 = 1,2-1,5$ ;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку;

$Z=1,1$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$S$  - площа освітлення приміщення,  $\text{м}^2$ .

Для світлодіодних ламп встановлених в освітлювачах середній світловий потік 1 лампи становить 450 лм.

2) Визначимо показник приміщення за формулою

$$i = \frac{l \cdot b}{h \cdot (l + b)}, \quad (5.10)$$

де  $l=6$  м – довжина приміщення;

$b=3$  м – ширина приміщення;

$h=3$  м – висота підвісу світильників.

Тоді за формулою (5.10)

$$i = \frac{6 \cdot 3}{3 \cdot (6 + 3)} = 0,67.$$

3) Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від коефіцієнтів випромінювання стелі, стін, робочих поверхонь, показника приміщення. Коефіцієнти відбиття для стін і стелі приймаємо  $\rho_3 = \rho_{\text{п}} = 0,7$  (білі). Згідно таблиці 6.2 [13] знаходимо значення  $\eta = 0,39$ .

4) Площа приміщення, яке освітлюється:

$$S = l \cdot b. \quad (5.11)$$

$$S = 6 \cdot 3 = 18 \text{ м}^2.$$

Розрахункова кількість ламп для нормального освітлення приміщення за формулою (5.9)

$$N_{\text{п}} = \frac{500 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{3 \cdot 8100 \cdot 0,39} = 9 \text{ шт.}$$

Кількість ламп у світильнику, яка є на даний момент є не достатньою, тому у похмуру погоду освітленість в приміщенні не відповідає нормованим значенням.

### **5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Безпека в надзвичайних ситуаціях регламентується планом локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій (ПЛАС). Основними складовими ПЛАС є розробка технічних та організаційних рішень з пожежної безпеки та заходів щодо оповіщення та евакуації персоналу лабораторії у надзвичайних ситуаціях.

5.3.1 Технічні рішення та організаційні заходи щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

При обладнанні виробничих будівель системою оповіщення, їх необхідно поділяти на зони оповіщування з урахуванням об'ємно-планувальних рішень будинків, шляхів евакуації, поділення на протипожежні відсіки тощо, а також з урахуванням вимог, що наведені в примітці 1 таблиці Е.1 додатка Е до ДБН В.1.1-7-2002.

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2002 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів - обладнуються всі виробничі приміщення.

Текст оповіщення людей про НС повторюється безперервно протягом всього часу евакуації людей. Перед подачею мовного повідомлення повинен подаватись сигнал привертання уваги.

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

У місцях, де є небезпека механічного ушкодження оповіщувачів, повинен бути забезпечений їх захист, що не порушує працездатності оповіщувачів. Настінні звукові та мовні оповіщувальні пристрої кріпляться на висоті не менше 2,2 м від підлоги, при цьому відстань від стелі до оповіщувача повинна становити не менше 150 мм.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС та аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Електропостачання, заземлення, занулення, вибір та прокладання мереж оповіщення приймаються згідно з вимогами до систем пожежної сигналізації за ДБН В.2.5-56:2014.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами устройства электроустановок" (ПУЕ) від двох незалежних джерел енергії: основного - від мережі змінного струму, резервного - від акумуляторних батарей тощо.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Звукові сигнали СО повинні забезпечувати загальний рівень звуку не менше 75 дБ на відстані 3 м від оповіщувача, але не більше 120 дБ у будь-якій точці виробничого приміщення. При цьому для забезпечення чіткої чутності звукові сигнали СО повинні забезпечувати рівень звуку не менше ніж на 15 дБ вище допустимого рівня звуку постійного шуму у захищуваному приміщенні. Вимір проводиться на висоті 1,5 м від підлоги.

### 5.3.2 Обов'язки та дії персоналу і населення при НС

У разі виявлення ознак пожежі працівник, який їх помітив, повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв'язку органи державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про пожежу керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про пожежу;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації пожежі з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установи, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні:

- перевірити, чи викликані підрозділ ДСНС та Державна пожежна охорона;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації пожежі;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації пожежі;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації та ліквідації пожежі.

### 5.3.3 Пожежна безпека

Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправності електроустаткування, коротке замикання в системі електроживлення, а також порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління).

Електричні кабелі електроустаткування вибираються по струмовим навантаженням та з використанням важкозаймистої ізоляції  $r_{i3}=1$  кОм/В.

Електропроводка має бути прокладена в захисних коробах з матеріалів, що не згорають. У електричних схемах електроустаткування передбачений захист від короткого замикання (автомати струмового захисту). У приміщенні підтримується

температура набагато нижче за температуру самозаймання речовин, що знаходяться в даному приміщенні.

Технічні рішення системи протипожежного захисту спрямовані на обмеження поширення пожежі, захист людей (у першу чергу) і матеріальних цінностей.

Приміщення має бути обладнане первинними засобами пожежогасіння (вогнегасник ОП- порошковий). При пожежі в електроустановках, що знаходяться під напругою (клас пожежі «Е»), рекомендується застосовувати порошки типу СІ, що являють собою зерна силікагелю, насичені галоїдвуглецевими рідинами. Також згідно з ДСТУ 3675-98 використовуються вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-8, призначені для гасіння пожежі, що виникла в електроустановках, що знаходяться під напругою (тривалість випуску заряду близько 15 с, довжина струменя 4 м, дозволяють вести гасіння без відключення установки). Кількість, розміщення та умови зберігання вогнегасників мають відповідати нормативним вимогам.

Має бути працездатний пожежний зв'язок і електропожежна сигналізація яка, відповідно до вимог ДБН В.2.5-56:2014 має сповіщати про виникнення пожежі і забезпечувати оперативне керування пожежними командами під час пожежі. Електрична пожежна сигналізація складається з оповіщувачів, встановлених у приміщенні і підключених до прийомної станції з живленням від мережі змінного струму 220 В. Передбачений також протипожежний водопровід. Згідно ДБН В.1.1-7-2002 межа вогнестійкості будинку має складати 0,5 години. Евакуаційним виходом із приміщення є дверний проріз, що веде в коридор, з якого є два виходи з будівлі. В цьому ж коридорі знаходиться пожежний щит, у якому мають бути лопата, сокира, відро, багор.

В архітектурно-планувальних рішеннях будівлі мають передбачаються евакуаційні виходи, в тому числі аварійні. Двері приміщення повинні відкриватися назовні, ширина дверей не менше 0,8 м, висота не менше 2 м, ширина коридору – 2 м.

#### **5.4 Висновки до розділу 5**

Були розглянуті заходи, спрямовані на організацію безпечної роботи в приміщенні науково-дослідної лабораторії (безпечна експлуатація ВДТ ПЕОМ, електробезпека).

Розглянули параметри для необхідного мікроклімату в робочій зоні дослідника з метою збереження його здоров'я і забезпечення максимальної продуктивності праці.

Провели розрахунки стосовно необхідного рівня виробничої освітленості в робочій зоні дослідника.

У приміщенні передбачена система одно бокового природного освітлення через застелений віконний проріз. Необхідна площа світлового прорізу, який забезпечує нормативне значення КПО в робочій зоні дослідника складає  $S_{\text{вікн}}=3 \text{ м}^2$ .

Приміщення в похмуру погоду освітлюється за допомогою світлодіодних ламп змонтованих в алюмінієвому профілі. Необхідна кількість ламп повинна бути у кількості 9 шт.

В науково-дослідній лабораторії передбачені заходи з пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.



## ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації наведені результати літературного пошуку, в якому розглянуті: область використання, конструкції, переваги та недоліки апаратів повітряного охолодження. Також були розглянуті різні методи інтенсифікації конвективного теплообміну всередині трубки. Був вибраний по теплопередачі та гідравлічному опору всередині трубки оптимальний метод інтенсифікації – повздовжнє оребрення.

У роботі розроблена 3D модель гладкої та оребленої трубки апарата повітряного охолодження в програмному забезпеченні SolidWorks.. Отримані їхні розподіли температур, швидкостей та поверхневі параметри трубки. Визначений оптимальний тип оребрення для заданих параметрів. Змодельована оребренна трубка з різних матеріалів та при різних швидкостях потоку всередині трубки, та визначений оптимальний матеріал та оптимальне значення швидкості потоку.

Проведений розрахунок, в якому визначено на скільки можна зменшити поверхню теплообміну апарату повітряного охолодження за рахунок внутрішнього оребрення.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок представлено з використанням шаблону бізнес-моделі Олександра Остервальдера та Іва Піньє.

Були розглянуті заходи, спрямовані на організацію безпечної роботи в приміщенні науково-дослідної лабораторії (безпечна експлуатація ВДТ ПЕОМ, електробезпека).

Розглянули параметри для необхідного мікроклімату в робочій зоні дослідника з метою збереження його здоров'я і забезпечення максимальної продуктивності праці. Проведені розрахунки стосовно необхідного рівня виробничої освітленості в робочій зоні дослідника.

В науково-дослідній лабораторії передбачені заходи з пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Процеси та обладнання газороздільних установок (ПОГРУ), стислий конспект [Електронний ресурс] : [https://elearning.sumdu.edu.ua/free\\_content/lectured:a431440315da9066760766d0c931a08acfc9ca64/latest/5850/index.html](https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:a431440315da9066760766d0c931a08acfc9ca64/latest/5850/index.html) – Електронні дані. - Суми : СумГУ, 2016.
2. Кузма-Китча, Ю. А. Методы интенсификации теплообмена: учеб. пособ. по курсу «Методы интенсификации теплообмена» / Ю. А. Кузма-Китча. М.: Изд-во МЭИ, 2001. 112 с.
3. Щербаченко, И. К. Исследование интенсификации теплообмена в трубах с кольцевыми турбулизаторами плавной конфигурации / И. К. Щербаченко. М.: Изд-во МЭИ, 2003. С. 151-154.
4. Дрейцер, Г. А. Расчет конвективного теплообмена в трубе с периодическими выступами / Г. А. Дрейцер, С. А. Исаев, И. Е. Лобанов // Труды МАИ / МАИ. М., 2003.
5. Калинин Э. К. Интенсификация теплообмена в каналах. / Э. К. Калинин, Г. А. Дрейцер, С. А. Ярхо – М.: Машиностроение, 1990. – 200 с.
6. Щукин В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил./ В. К. Щукин – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.
7. Мигай В. К. Повышение эффективности современных теплообменников. / В. К. Мигай– Л.: Энергия, 1980. – 143 с.
8. Гухман А. А. Интенсификация конвективного теплообмена и проблема сравнительной оценки теплообменных поверхностей./ А. А. Гухман - Теплоэнергетика. – 1977. – № 4. – С. 5–8.
9. Дрейцер Г. А. Эффективность использования закрутки потока для интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах. / Г. А. Дрейцер– Теплоэнергетика. – 1997. – № 11. – С. 61–65.
10. Бузник В. М. Интенсификация теплообмена в судовых установках. / В. М. Бузник– Л.: Судостроение, 1969. – 364 с.
11. Трёмбовля В. И. Теплотехнические испытания котельных установок. / В. И. Трёмбовля Е. Д. Фингер, А. А. Авдеева – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 413 с.
12. Бошняк Л. Л. Измерения при теплотехнических испытаниях. / Л. Л. Бошняк – Л.: Машиностроение, 1974. – 488 с.
13. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. / С.С. Кутателадзе – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 366 с.
14. Ansys Fluent. Pennsylvania: Ansys Inc., 2011. – 11 p. (<http://www.ansys.com>)
15. Menter F. R. Zonal two equation k–w turbulence models for aerodynamic flows // AIAA

Рарег. 1993. No. 2906. Рр.1–21.

16. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. / Н. Б. Варгафтик – М.: Физматлит, 1963. – 708 с.

17. Камаєв Ю.М. Інтегровані комп'ютерні технології. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Частина 2 / Ю.М. Камаєв. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 76 с.

18. Гавриш О.А. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

19. Остервальдер А. Построение бизнес-моделей. Настольная книга стратега и новатора / А. Остервальдер, П. Ив // Москва: Альпина Паблишер, 2017. – 288 с.

20. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. – Чинні від 01.10.2006. Київ: Мінбуд України, 2006. – 96 с.

## ДОДАТОК А

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Декан теплоенергетичного  
факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

\_\_\_\_\_ Є. М. Письменний

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
прізвище)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Генеральний директор  
(керівник підприємства,  
ТОВ «ECS-group»  
організації)  
\_\_\_\_\_ Р.Р.Пура  
(ініціали,

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на науково-дослідну роботу

«Інтенсифікація конвективного теплообміну в трубах апарату повітряного охолодження»

#### 1. Термін виконання роботи

Початок – 1.09. 2016 р.

Закінчення – 14.05. 2018 р.

#### 2. Обґрунтування для виконання роботи

На сьогоднішній день апарати повітряного охолодження мають дуже широке застосування. Вони призначені для охолодження газоподібних і рідких середовищ в газовій, хімічній та нафтохімічній промисловості. Наприклад, широке використання апаратів повітряного охолодження в нафтопереробній промисловості пояснюється обмеженістю водних ресурсів та необхідністю зменшення кількості стічних вод, які забруднюють водойми і для очищення яких потрібні складні гідротехнічні споруди. Апарати повітряного охолодження (АПО) прості в експлуатації, ремонт та очищення їх не вимагають великих трудових витрат. Зовнішня поверхня теплообміну майже не забруднюється холодоагентом (повітрям), навіть якщо обдувати їх запиленним повітрям і при значному нагріванні теплообмінних труб. На зовнішній теплообмінній поверхні не відбувається корозії, яка зазвичай притаманна всім конденсаторам і холодильникам, внаслідок чого можна легко вибирати матеріал труб для повітряних конденсаторів. АПО економічно виправдані у порівнянні з іншими відомими охолоджувачами.

#### 3. Мета роботи

Вибрати оптимальний метод інтенсифікації конвективного теплообміну в трубі апарату повітряного охолодження. За допомогою моделювання в програмному забезпеченні Solid Works визначити оптимальні параметри

вибраного методу інтенсифікації. Порівняти розроблений апарат повітряного охолодження з типовим АПО на таку ж потужність.

#### **4. Зміст основних етапів виконання роботи**

- 1) Методи інтенсифікації теплообміну в апаратах повітряного охолодження (літературний огляд).
- 2) Моделювання у програмному забезпеченні Solid Works.
- 3) Техніко економічний розрахунок.
- 4) Розроблення стартап-проекту.
- 5) Технічні рішення і запобігаючі заходи з охорони праці.

#### **5. Матеріали, що подаються після закінчення роботи**

- 5.1. Магістерська дисертація.
- 5.2. Презентація.
- 5.3. Довідка про впровадження результатів.

#### **6. Порядок розгляду і приймання роботи**

Результати роботи розглядаються на засіданні ЕК із захисту атестаційних робіт освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», спеціалізацією «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження».

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Барабаш П.О.

(підпис) (посада, ініціали, прізвище)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Петречук

20\_\_ р.

Виконавець

Студент гр. ТП-61м,

ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

\_\_\_\_\_ А.Л.

(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_

## ДОДАТОК В

Ф.№

3.3

### СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Петречука Андрія Леонідовича.

№ з /п	Найменування праць	Руко- писні або друко- вані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кіль- кість друко- ваних арку- шів або сторі- нок разом	Прізви- ща співавторі в праць
1	2	3	4	5	6
1	<b><i>Моделювання впливу параметрів орблення на інтенсивність теплообміну при течії рідини в трубі</i></b>	Друк.	XVI міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 24-27 квітня 2018 р. – ВАТ „Володимирецька друкарня”.-2018.	1 стор.	Барабаш П.О.
2	Інтенсифікація конвективного теплообміну в трубному пучку апарата повітряного охолодження с.151	Друк.	XV міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 25-28 квітня 2017 р. – ВАТ „Володимирецька друкарня”.-2017.	1 стор	Барабаш П.О.

Автор

Петречук А.Л.

(ініціали, прізвище)

# ДОДАТОК Г

## ПЕРЕВІРКА МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ НА ПЛАГІАТ



Моделювання  
Завантажено: 05/11/2018  
Перевірено: 05/11/2018

### Інтернет + Бібліотека

97.33% Оригінальність	2.67% Схожість	68 Джерела
-----------------------	----------------	------------

#### Джерела з Інтернет : 1 джерело знайдено

1. <a href="http://tef.kpi.ua/files/pdf/1tezi_tom1_1524728051.pdf">http://tef.kpi.ua/files/pdf/1tezi_tom1_1524728051.pdf</a>	1.68%
2. <a href="http://aesitf.kpi.ua/wp-content/uploads/2018/04/2018vol1.pdf">http://aesitf.kpi.ua/wp-content/uploads/2018/04/2018vol1.pdf</a>	1.68%
3. <a href="https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/468011/Fuel_Poverty..">https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/468011/Fuel_Poverty..</a>	0.99%
4. <a href="http://web.kpi.kharkov.ua/mto/wp-content/uploads/sites/147/2016/06/docx.pdf">http://web.kpi.kharkov.ua/mto/wp-content/uploads/sites/147/2016/06/docx.pdf</a>	0.81%
5. <a href="https://www.afdc.energy.gov/pdfs/argonne_phev_evaluation_report.pdf">https://www.afdc.energy.gov/pdfs/argonne_phev_evaluation_report.pdf</a>	0.64%
6. <a href="https://scholar.uwindsor.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1072&amp;context=etd">https://scholar.uwindsor.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1072&amp;context=etd</a>	0.64%
7. <a href="https://feao.org.ua/wp-content/uploads/2017/11/feao_podatok_na_prybutok_a5_02.pdf">https://feao.org.ua/wp-content/uploads/2017/11/feao_podatok_na_prybutok_a5_02.pdf</a>	0.64%
8. <a href="https://public.health.oregon.gov/DiseasesConditions/InjuryFatalities/Documents/oregon-drug-ove..">https://public.health.oregon.gov/DiseasesConditions/InjuryFatalities/Documents/oregon-drug-ove..</a>	0.64%
9. <a href="http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/5079/data/enrico_minack_diploma_thesis...">http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/5079/data/enrico_minack_diploma_thesis...</a>	0.58%
10. <a href="https://www.coldwellbankerluxury.com/cta/home-page/download">https://www.coldwellbankerluxury.com/cta/home-page/download</a>	0.58%
11. <a href="http://repository.uksw.edu/bitstream/123456789/2359/2/T1_662008001_Full%20Text.pdf">http://repository.uksw.edu/bitstream/123456789/2359/2/T1_662008001_Full%20Text.pdf</a>	0.58%
12. <a href="https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48139/2184-fuel-pov..">https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48139/2184-fuel-pov..</a>	0.58%
13. <a href="https://www.economiaderecursos.com/wp-content/uploads/2009/03/produccion-costes-y-mercado..">https://www.economiaderecursos.com/wp-content/uploads/2009/03/produccion-costes-y-mercado..</a>	0.58%
14. <a href="https://www.roeselare.be/sites/default/files/bijlage/Jaarverslag%20burgerzaken%202017%20for%2..">https://www.roeselare.be/sites/default/files/bijlage/Jaarverslag%20burgerzaken%202017%20for%2..</a>	0.58%
15. <a href="https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/High%20Renewable%20Electricity%20Asses...">https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/High%20Renewable%20Electricity%20Asses...</a>	0.58%
16. <a href="https://es.scribd.com/doc/44904624/Distribucion-de-Tiempos-de-Residencia-y-Modelos-para-Reac..">https://es.scribd.com/doc/44904624/Distribucion-de-Tiempos-de-Residencia-y-Modelos-para-Reac..</a>	0.58%
17. <a href="https://www.cdaid.org/files/police/2012_CDAPD_Annual_Report.pdf">https://www.cdaid.org/files/police/2012_CDAPD_Annual_Report.pdf</a>	0.58%
18. <a href="http://www.thruway.ny.gov/about/financial/monthly/2011/supplementals/mar2011supplements.pdf">http://www.thruway.ny.gov/about/financial/monthly/2011/supplementals/mar2011supplements.pdf</a>	0.58%
19. <a href="http://ir.extraspace.com/static-files/ae017d35-a43e-45e8-8aa7-a4877df5b92">http://ir.extraspace.com/static-files/ae017d35-a43e-45e8-8aa7-a4877df5b92</a>	0.58%
20. <a href="http://www.start.umd.edu/pubs/DHS_I%26A_GTD_Targeting%20Critical%20Infrastructure%20in...">http://www.start.umd.edu/pubs/DHS_I%26A_GTD_Targeting%20Critical%20Infrastructure%20in...</a>	0.58%
21. <a href="https://www.slideshare.net/REDJUVENTUD/estudio-conductas-adictivas-jovenes-ciudad-real-red-ju..">https://www.slideshare.net/REDJUVENTUD/estudio-conductas-adictivas-jovenes-ciudad-real-red-ju..</a>	0.58%
22. <a href="http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7642/%D0%91%D0%BE%D0%B4%D0%BD%..">http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7642/%D0%91%D0%BE%D0%B4%D0%BD%..</a>	0.58%
23. <a href="http://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/40886/1/diss_Lipovoj.pdf">http://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/40886/1/diss_Lipovoj.pdf</a>	0.58%
24. <a href="http://www.mixing.net/Conferences/mix22/abstracts/Joelle_Aubin.pdf">http://www.mixing.net/Conferences/mix22/abstracts/Joelle_Aubin.pdf</a>	0.58%
25. <a href="http://www.openoffice.org/documentation/manuals/oooauthors/Creating_Charts_Graphs.pdf">http://www.openoffice.org/documentation/manuals/oooauthors/Creating_Charts_Graphs.pdf</a>	0.58%
26. <a href="https://feao.org.ua/wp-content/uploads/2017/09/2017-09-19-%D0%94%D0%BE%D1%85%D0%BE..">https://feao.org.ua/wp-content/uploads/2017/09/2017-09-19-%D0%94%D0%BE%D1%85%D0%BE..</a>	0.58%
27. <a href="http://www.enoreports.com/enoreports/pdf/lallemmand_jul10.pdf">http://www.enoreports.com/enoreports/pdf/lallemmand_jul10.pdf</a>	0.58%
28. <a href="https://www.uv.es/qfinan/TFM-numeros/12-027.pdf">https://www.uv.es/qfinan/TFM-numeros/12-027.pdf</a>	0.58%
29. <a href="http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/8521/2012000000674.pdf.txt?sequence=3">http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/8521/2012000000674.pdf.txt?sequence=3</a>	0.58%
30. <a href="https://investin.if.ua/doc/information/2013/uk/1.2_FDI.pdf">https://investin.if.ua/doc/information/2013/uk/1.2_FDI.pdf</a>	0.58%
31. <a href="https://u3asites.org.uk/files/h/halesworth/docs/2017-05solarenergycj.pdf">https://u3asites.org.uk/files/h/halesworth/docs/2017-05solarenergycj.pdf</a>	0.58%
32. <a href="https://jeromealgebra1.wiki.dublinschools.net/file/view/6.1+homework+key.pdf">https://jeromealgebra1.wiki.dublinschools.net/file/view/6.1+homework+key.pdf</a>	0.58%
33. <a href="http://www.asee.org/documents/sections/midwest/2008/401-1.pdf">http://www.asee.org/documents/sections/midwest/2008/401-1.pdf</a>	0.52%
34. <a href="http://library.nd.gov/statedocs/UGPTI/DP26420131119.pdf">http://library.nd.gov/statedocs/UGPTI/DP26420131119.pdf</a>	0.52%
35. <a href="http://www.authorstream.com/Presentation/gauravdiwakar-1583946-sampling">http://www.authorstream.com/Presentation/gauravdiwakar-1583946-sampling</a>	0.46%
36. <a href="http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4982/1/CD-4520.pdf">http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4982/1/CD-4520.pdf</a>	0.46%
37. <a href="http://fin.bus.ku.ac.th/135512%20Economic%20Environment%20for%20Finance/Lecture%20Slide..">http://fin.bus.ku.ac.th/135512%20Economic%20Environment%20for%20Finance/Lecture%20Slide..</a>	0.46%
38. <a href="https://arsfilopsico.wordpress.com/2011/02/23/vii-jornadas-nacionales-de-investigacion-en-psicolo...">https://arsfilopsico.wordpress.com/2011/02/23/vii-jornadas-nacionales-de-investigacion-en-psicolo...</a>	0.46%
39. <a href="https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/109818/TMSA1de1.pdf">https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/109818/TMSA1de1.pdf</a>	0.46%
40. <a href="http://www.onsemi.com/pub/Collateral/ANDLB1909MC.PDF">http://www.onsemi.com/pub/Collateral/ANDLB1909MC.PDF</a>	0.46%
41. <a href="http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/31538/9/09_chapter%204.pdf">http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/31538/9/09_chapter%204.pdf</a>	0.46%
42. <a href="http://bib.convdocs.org/v25748/?download=1">http://bib.convdocs.org/v25748/?download=1</a>	0.46%
43. <a href="https://bank.gov.ua/doccatalog/document?id=50356637">https://bank.gov.ua/doccatalog/document?id=50356637</a>	0.46%
44. <a href="https://arsfilopsico.wordpress.com/category/psicologia-joven">https://arsfilopsico.wordpress.com/category/psicologia-joven</a>	0.46%

Схожість  
 Схожість з обраним джерелом  
 Заміна літер абетки

Цитата  
 Посилання



45. <a href="https://www.openoffice.org/documentation/manuals/oooauthors/Creating_Charts_Graphs.pdf">https://www.openoffice.org/documentation/manuals/oooauthors/Creating_Charts_Graphs.pdf</a>	0.46%
46. <a href="https://arsfilopsico.wordpress.com/author/arsfilopsico/page/8">https://arsfilopsico.wordpress.com/author/arsfilopsico/page/8</a>	0.46%
47. <a href="http://rada.kpi.ua/files/dissertation/dis_Bozhko_K.M_.pdf">http://rada.kpi.ua/files/dissertation/dis_Bozhko_K.M_.pdf</a>	0.46%
48. <a href="http://x-ray.net.ua/downloads/prints/papers/xray_46.pdf">http://x-ray.net.ua/downloads/prints/papers/xray_46.pdf</a>	0.46%
49. <a href="http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1068&amp;context=dissertations">http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1068&amp;context=dissertations</a>	0.46%
50. <a href="http://www.ism.kiev.ua/images/zaycev.PDF">http://www.ism.kiev.ua/images/zaycev.PDF</a>	0.46%
51. <a href="http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/35.01.pdf">http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/35.01.pdf</a>	0.46%
52. <a href="https://vdocuments.mx/documents/revista-ciencia-trabajo-n38.html">https://vdocuments.mx/documents/revista-ciencia-trabajo-n38.html</a>	0.46%
53. <a href="http://www.cengage.com/resource_uploads/downloads/0176104372_291250.pdf">http://www.cengage.com/resource_uploads/downloads/0176104372_291250.pdf</a>	0.46%
54. <a href="http://edu-mns.org.ua/nmc/109/pns08.pdf">http://edu-mns.org.ua/nmc/109/pns08.pdf</a>	0.46%
55. <a href="http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/32490/6/diser_stech%20%281%29.pdf">http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/32490/6/diser_stech%20%281%29.pdf</a>	0.46%
56. <a href="https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file..">https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file..</a>	0.46%
57. <a href="https://www.macmillanlearning.com/Catalog/static/whf/crauderpreview/LAMChapter4-4-15-2010.pdf">https://www.macmillanlearning.com/Catalog/static/whf/crauderpreview/LAMChapter4-4-15-2010.pdf</a>	0.46%
58. <a href="http://publications.europa.eu/resource/cellar/a727fa89-57bd-11e7-a5ca-01aa75ed71a1.0002.03/DO..">http://publications.europa.eu/resource/cellar/a727fa89-57bd-11e7-a5ca-01aa75ed71a1.0002.03/DO..</a>	0.46%
59. <a href="https://meps.ahrq.gov/data_files/publications/cb17/cb17.pdf">https://meps.ahrq.gov/data_files/publications/cb17/cb17.pdf</a>	0.46%
60. <a href="https://bank.gov.ua/doccatalog/document?id=31669311">https://bank.gov.ua/doccatalog/document?id=31669311</a>	0.46%
61. <a href="https://www.slideshare.net/Tracxn/tracxn-online-rental-report-tracxn-mobile-fintech-startup-landsca..">https://www.slideshare.net/Tracxn/tracxn-online-rental-report-tracxn-mobile-fintech-startup-landsca..</a>	0.46%

### Джерела з Бібліотека : 7 джерел знайдено

Ripnewsky_kv62m.docx	0.58%
Нужна.docx	0.58%
Тищенко_УІ.docx	0.58%
Уваровський_УІ.docx	0.46%
Диплом_магістр_Головата.pdf	0.46%
Демченко П.О. УВ-61м.docx	0.46%
18209-1.pdf	0.46%